

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

LIBEREC 2011

Bc. Jitka Průdková

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta textilní
Katedra hodnocení textilií

Studijní program: N3108 Průmyslový management

Studijní obor: Management jakosti

Zaměření: Management jakosti

VLIV NEPLSTIVÝCH ÚPRAV NA TEPELNÝ KOMFORT VLNĚNÝCH TKANIN

INFLUENCE OF ANTIFELTING TREATMENTS ON THERMAL COMFORT OF WOOLLEN FABRICS

Jitka Průdková

KHT-099

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Luboš Hes, DrSc.**

Katedra hodnocení textilií

Konzultant diplomové práce: **Ing. Dagmar Machaňová**

Katedra textilní chemie

Rozsah práce:

Počet stran textu ... **56**

Počet obrázků..... **19**

Počet tabulek..... **4**

Počet stran příloh.. **18**

Zadání diplomové práce

(vložit originál)

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci dne 15. 4. 2011

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Vzhledem k obsáhlosti problematiky zpracované v této diplomové práci bylo nezbytné spolupracovat s řadou pedagogů, bez jejichž pomoci by tato práce nevznikla. Prvotně chci poděkovat prof. Ing. Luboši Hesovi, DrSc. za poskytnutí zajímavého tématu a odborné vedení při jeho zpracování.

Dále pak konzultantce práce, Ing. Dagmar Machaňové, za její ochotný přístup, čas a rady, které mi poskytla. Děkuji také Mgr. Ireně Šlamborové, Ph.D. za konzultace týkající se enzymologie, Ing. Janě Grabmüllerové a Ing. Denise Zálešákové za zhotovení snímků na rastrovacím mikroskopu. Dále pak Ing. Janě Čandové za úpravu vzorků laserem a Ing. Marošovi Tunákovi, Ph.D. za rady při zpracování dat.

Firmě Nová Mosilana, a.s. velmi děkuji za poskytnutí vzorků.

V neposlední řadě můj dík patří také rodičům, kteří mi umožnili studovat a po celou dobu mne podporovali. Stejně tak děkuji za pomoc ze strany svého přítele a kamarádů.

ANOTACE

Cílem práce bylo sledovat vliv neplstivých úprav na tepelný komfort zavlhčených vlněných tkanin. Teoretická část práce obsahuje popis ovčí vlny jako textilního materiálu a také informace o neplstivých úpravách. Dále se zabývá termofyziologickým komfortem. V praktické části je popsáno provedení tří zvolených neplstivých úprav – chlorování v kyselém prostředí, enzymatická hydrolýza, úprava laserem. U upravených i neupravených tkanin byl za různých stupňů zavlhčení měřen tepelný odpor, tepelná vodivost a tepelná jímavost. Měření bylo prováděno na přístroji Alambeta. Vyhodnocení bylo provedeno pomocí grafů regresních závislostí a shlukové analýzy. Bylo zjištěno, že úpravy založené na částečné destrukci povrchu vláken vedou ke zhoršení tepelného komfortu vlhkých vlněných tkanin. Příčina těchto změn je v práci objasněna.

KLÍČOVÁ SLOVA:

Ovčí vlna, vlhkost, neplstivá úprava, tepelný odpor, tepelná vodivost, tepelná jímavost

ANNOTATION

This thesis observes the influence of anti-felt finishing on thermal comfort of woollen fabrics on wet state. The theoretical part contains a description of the sheep wool as well as information about anti-felting treatments. It also deals with thermophysiological comfort. In the practical part is described performing of anti-felting treatments – acid wet chlorination, enzymatic hydrolysis, laser treatment. Thermal resistance, thermal conductivity and thermal absorptivity were measured for both, treated and untreated fabrics, in different wet states. The measurement was carried out with measuring advice called Alambeta. The evaluation was performed using the regression graphs and cluster analysis. It was found that the treatments based on the partial destruction of the fibre surface lead to the deterioration of thermal comfort of woollen fabrics on wet state. The final part explains the causes of these changes.

KEY WORDS:

Sheep wool, moisture, anti-felt finishing, thermal resistance, thermal conductivity, thermal absorptivity

Obsah

Seznam symbolů a zkratk	8
Úvod	10
TEORETICKÁ ČÁST	12
1. Ovčí vlna	12
1.1. Vlastnosti ovčí vlny	12
1.2. Chemická struktura ovčí vlny	13
1.3. Morfologie a geometrie vlny	14
1.4. Plstění vlny	15
1.4.1. Princip neplstivých úprav	16
1.4.2. Chlorování.....	18
1.4.3. Enzymatická úprava.....	19
1.4.4. Úprava laserem.....	20
2. Přenosy tepla a vlhkosti	21
2.1. Termoregulace.....	21
2.2. Tepelná bilance.....	21
2.3. Přenos tepla mezi člověkem a vnějším prostředím	22
2.4. Přenos vlhkosti mezi člověkem a vnějším prostředím	23
3. Komfort	25
3.1. Termofyziologický komfort	25
3.2. Přehled metod pro měření parametrů termofyziologického komfortu	27
3.2.1. Přístroj Alambeta.....	28
4. Tepelné vlastnosti vlněného vlákna v závislosti na vlhkosti	31
4.1. Tepelná izolace.....	31
4.2. Teplo sorpce a teplý omak	31
4.3. Stacionární model neupraveného vlněného vlákna	32
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	35
5. Provedení neplstivých úprav	35
5.1. Vzorky.....	35
5.2. Chlorování v kyselém prostředí	36
5.2.1. Příprava chlorování.....	36
5.2.2. Postup chlorování a antichlorování	37
5.2.3. Zkouška plstivosti.....	38
5.2.4. Zkouška obarvení	38
5.3. Enzymatická úprava.....	39
5.3.1. Příprava	39
5.3.2. Enzymatická hydrolýza.....	39

5.4.	Laser.....	41
5.4.1.	Popis zařízení	41
5.4.2.	Postup laserové úpravy	42
5.5.	Elektronová rastrovací mikroskopie	43
6.	Měření tepelných vlastností a způsob vyhodnocení dat	46
6.1.	Měření na přístroji Alambeta	46
6.1.1.	Postup.....	46
6.2.	Způsob zpracování výsledků	47
6.3.	Shluková analýza.....	47
6.3.1.	Postup shlukové analýzy	49
7.	Vyhodnocení naměřených veličin.....	52
7.1.	Analýza závislostí tepelných vlastností na typu neplstivé úpravy a míře zavlhčení	52
7.1.1.	Tepelný odpor	52
7.1.2.	Tepelná vodivost	54
7.1.3.	Tepelná jímavost	56
7.2.	Vyhodnocení shlukové analýzy.....	58
7.2.1.	Tepelný odpor	59
7.2.2.	Tepelná vodivost	60
7.2.3.	Tepelná jímavost	61
7.3.	Celkové vyhodnocení	62
	ZÁVĚR	64
	Seznam použité literatury	66
	Seznam příloh	68

Seznam symbolů a zkratk

a	měrná teplotní vodivost [$\text{m}^2 \times \text{s}^{-1}$]
A	tkanina A
b	tepelná jímavost [$\text{W} \times \text{s}^{1/2} \times \text{K}^{-1} \times \text{m}^{-2}$]
B	tkanina B
B_T	hodnota vyrovnávání teploty [$\text{K} \times \text{min}^{-1}$]
d	vzdálenost bodů v prostoru
$d(x_{ri}, x_{sj})$	vzdálenost mezi pozorováním i ze skupiny r a pozorování j ze skupin s
D	vzdálenost mezi objekty
EC	Enzyme Commission number; numerické klasifikační schéma pro enzymy
F_i	schopnost krátkodobého přijímání par [%]
F_l	propustnost vlhkosti [$\text{g} \times \text{m}^{-2} \times \text{hbar}^{-1}$]
h	tloušťka [mm]
i_{mt}	index prostupu vodních par
IR	Infrared radiation; infračervené záření
K_d	hodnota vyrovnávání vlhkosti
K_f	pufrační veličina
m_s	hmotnost vzorku v ultra suchém stavu [g]
m_v	hmotnost vzorku s obsahem vlhkosti [g]
p	poměr hustoty maximálního tepelného toku [-]
q_{max}	maximální tepelný tok [$\text{W} \times \text{m}^{-2}$]
q_s	ustálený tepelný tok [$\text{W} \times \text{m}^{-2}$]
Q_C	přenos tepla konvekcí z povrchu oděného těla
Q_{DP}	tepelná ztráta difuzí vodní páry povrchem těla
Q_{KO}	přenos tepla z povrchu těla na vnější povrch oděvu (vedení tepla oděvem)
Q_M	vnitřní metabolický vývin tepla v lidském těle
Q_{RL}	tepelná ztráta latentní respirací
Q_{RS}	tepelná ztráta suchou respirací
Q_R	přenos tepla sáláním z povrchu oděného těla
Q_V	tepelná ztráta odpařováním potu z povrchu těla
R	plošný odpor vedení tepla [$\text{K} \times \text{m}^2 \times \text{W}^{-1}$]
R^n	n -rozměrný Euklidovský prostor
R_{et}	tepelná izolace vlhké textilie [$\text{m}^2 \times \text{mbar} \times \text{W}^{-1}$]

R_{JS}	tepelný odpor suchého jádra vlákna
R_{JV}	tepelný odpor vlhkého jádra vlákna
R_{KS}	tepelný odpor suché kutikuly vlákna
R_{KV}	tepelný odpor vlhké kutikuly vlákna
S	levý zákrut příze
t_1	počáteční teplota textilie
t_2	teplota pokožky
U	hmotnostní přívažek vlhkosti [%]
Z	pravý zákrut příze
α, β	konstanty ve vzorci pro termofyziologický komfort
$\rho \times c$	tepelná kapacita [$J \times kg^{-1} \times K^{-1}$]
λ	měrná tepelná vodivost [$W \times m^{-1} \times K^{-1}$]
$CaCl_2$	chlorid vápenatý
Cl	aktivní chlor
CO_2	oxid uhličitý
H_2O	voda
H_2SO_4	kyselina sírová
HCl	kyselina chlorovodíková
$HClO$	kyselina chlorná
$NaCl$	chlorid sodný
$NaClO$	chlornan sodný
Na_2CO_3	uhličitan sodný (soda)
O	aktivní kyslík
-OH	hydroxylová skupina
$1N-HCl$	jedno molární roztok kyseliny chlorovodíkové

Úvod

Ovčí vlna je přírodní materiál s řadou unikátních vlastností, kvůli nimž ji lidé od pradávna užívají především pro výrobu oděvů. Vlněné výrobky jsou pohodlné, nemačkové a tvarově stálé. V první řadě však představují výborný tepelný izolant a termoregulátor. Vlna totiž dokáže být na jednu stranu velmi hřejivá, na druhou stranu umí fungovat jako tepelná bariéra proti vysokým okolním teplotám. Ovšem to hlavní, co ovčí vlnu odlišuje od ostatních textilních materiálů, je fakt, že si izolační schopnost dokáže udržet i za vlhka. Dokonce při sorpci vlhkosti uvolňuje vlněné vlákno tzv. sorpční teplo. To v praxi může znamenat, že pokud nositel vlněného oděvu mírně zmokne anebo se zapotí, stále vlhkost na dotyk nepocítuje. Například bavlněný oděv takový komfort poskytnout nedokáže a velmi záhy po navlhnutí nositele chladí.

Tato fakta staví vlnu do pozice oděvního materiálu, který poskytuje dostatečný tepelný komfort při širokém spektru okolních podmínek; tedy za vlhka, chladu i tepla. Proto je uplatnění výrobků z ovčí vlny poměrně široké. Můžete se setkat s luxusními vlněnými kostýmy či zimními kabáty, stejně jako s funkčními sportovními oděvy.

Všechny zmíněné výjimečné vlastnosti vychází z chemické struktury i celkového uspořádání vlněného vlasu. Jeho povrch totiž pokrývá vrstva šupinek, které mezi sebou utváří prostory umožňující zadržení vzduchu. A jak je obecně známo, vzduch je dobrý tepelný izolant. Šupinky neupraveného vlněného vlákna jsou navíc silně hydrofobní, kdežto jádro vlákna je hydrofilní. Takže do určité míry zavlhčení platí, že vlhkost je „uzamknuta“ pouze v jádru a na povrchu je vlákno suché. Nevýhodou šupinek však je, že při působení vlhkého tepla spolu s mechanickým namáháním se vzájemně do sebe zaklesnou. Tento proces se nazývá plstění a vede ke srážení hotové vlněného oděvu a ztrátě některých jeho užitných vlastností. Proto vlněné textilie vyžadují šetrnou údržbu, která obnáší především opatrné mechanické zacházení a nízké teploty praní.

Aby byla údržba vlněných textilií pro konečného uživatele co nejjednodušší, byly vyvinuty úpravy, které plstění potlačují. Takových neplstivých metod je celá řada, jsou více či méně šetrné, ať už k vlněnému vláknu nebo k životnímu prostředí. Všechny ale fungují na principu narušení šupin. Proto tyto úpravy mají význam nejen pro spotřebitele, ale také pro textilní předúpravu. Rozrušením šupin se totiž zvyšuje schopnost vlněného vlákna přijímat barviva, což vede ke zjednodušení barvení a tisku a

úspoře chemikálií užívaných v těchto procesech. Jenže modifikovaný povrch vlákna se mění z hydrofobního na hydrofilní, a tím také více tepelně vodivý.

Z toho vyplývá zásadní problém. Vlna podrobená neplstivým úpravám zákonitě přichází o svou původní kvalitu a vlastnosti. Cílem této práce je proto posoudit, nakolik tyto modifikace vlněného vlasu změni tepelné vlastnosti vlněných textilií při zavlhčení. Na nativní vlněné vzorky budou nanесeny tři zvolené neplstivé úpravy a budou u nich sledovány změny tepelného odporu, tepelné vodivosti a jímavosti. Výsledky by měly potvrdit předpoklad, že neupravená tkanina bude i za vlhka poskytovat větší tepelné pohodlí v porovnání s vlněnými vzorky zajištěnými proti plstění a srážení.

TEORETICKÁ ČÁST

1. Ovčí vlna

Ovčí vlna je přírodní živočišné proteinové vlákno, které je svým složením blízké příbuzné kůži, rohovině či nehtům. Chemickou podstatou je vláknitá bílkovina keratin. [1]

1.1. Vlastnosti ovčí vlny

Vlna jako přírodní materiál je od pradávna hojně využívána pro své unikátní vlastnosti. Je známo, že velmi dobře zachovává tělesné teplo, což ji vždy předurčovalo především k využití v chladnějších podmínkách. Ovšem vlněný oděv nabízí nositeli dostatečné pohodlí i při pobytu ve vyšších teplotách. Je to dáno právě výbornými izolačními schopnostmi vlny, a lze ji proto označit za výborný termoregulátor. [1,2] Pokud si přeci jen situace žádá snížení hřejivosti vlněné textilie, stačí využít možností vhodného směsování s jinými textilními materiály, anebo aplikovat na vlákna speciální látky zvyšující tepelnou vodivost vlny, jak uvádí zdroj [3].

Další jedinečnou vlastností ovčí vlny je schopnost přijmout do svojí struktury velké množství vlhkosti či potu, a přitom stále poskytovat suchý omak. Vlněný oděv tedy zaručuje pohodlí i při zhoršených podmínkách, jako je deštivé počasí či zvýšená fyzická námaha. [1,2]

Vlnu je možné vnímat také jako biologický materiál, který byl v historii užíván k hojení ran. [4] Dalšího speciálního využití se ovčí vlna dočkala v současné době ve stavebnictví. Zde se uplatňuje nejen jako výborný izolant, který dokáže reagovat na změny okolní teploty, ale také jako pohlcovač některých škodlivých látek vyskytujících se v interiérech staveb. [5]

V součtu jsou tedy hlavními přednostmi vlny především vysoká tepelná izolace a hřejivost, vysoká nasákavost, dobrá pružnost a příjemný omak. Vlna dokáže do svojí struktury přijmout až 30 % vlhkosti oproti svojí suché hmotnosti. Navíc při zvlhnutí uvolňuje sorpční teplo. Tento fakt spolu s tím, že přijatá vlhkost se drží uvnitř vlákna a jeho hydrofobní povrch zůstává suchý, způsobuje, že vlněné výrobky poskytují suchý a relativně teplý omak i při navlhnutí. [1]

Díky vysoké pružnosti jsou vlněné výrobky méně mačkové a vynikají dobrou tvarovou stálostí. To souvisí se schopností vlněného vlákna vrátit se do své původní délky i po protažení až o 30 %. Některé zdroje uvádějí [1], že vlněné vlákno lze za vlhka šetrně natáhnout dokonce až o 70 %. Z toho vyplývá, že tažnost vlny se působením vlhka zlepšuje.

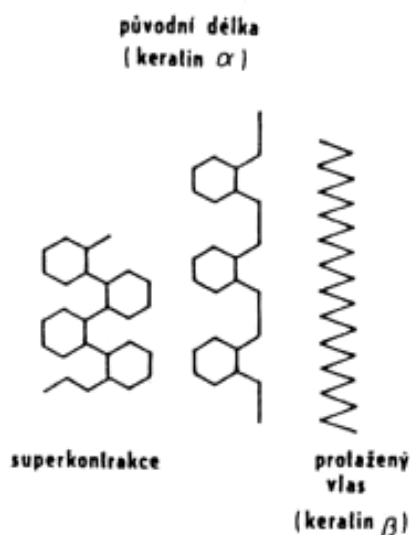
Pro vlnu je typická také takzvaná superkontrakce, což je schopnost vlněného vlákna smrštit se po protažení na délku kratší než byla délka původní. Musí být ovšem dodrženy podmínky krátkodobého působení vlhka a tepla. K těmto změnám dochází vlivem fyzikálních a především pak chemických procesů ve vlněném vlákne. [6]

V neposlední řadě je třeba zmínit další charakteristickou vlastnost ovčí vlny, a tou je plstivost, která je spjata s typickou šupinkovitou strukturou vlněných vláken. Někdy je plstivost žádaná, často je však potlačována úpravami, které ale mění vlastnosti vlny. [1]

1.2.Chemická struktura ovčí vlny

Základní stavební jednotkou vlněného vlákna jsou aminokyseliny (cystin, cystein, tyrosin atd.), které se dělí do více tříd a různě ovlivňují vlastnosti vlny. Aminokyseliny se spojují do polypeptidických řetězců, a ty jsou mezi sebou dále propojovány různými typy chemických vazeb zajišťujícími základní mechanicko-fyzikální vlastnosti (pevnost, tažnost, odolnost v oděru apod.). [7]

Molekuly v řetězci jsou uspořádány do tvaru šroubovice. Toto nejběžnější uspořádání nazývané α -keratin může být snadno narušeno působením tepla a vlhka. Vlivem napínání vlákna se šroubovice protahuje a mění se pravidelně lomené uspořádání. Vzniklá „cik-cak“ struktura se nazývá β -keratin. [6]



Obr. 1 Uspořádání molekul vlněného vlákna [6]

1.3. Morfologie a geometrie vlny

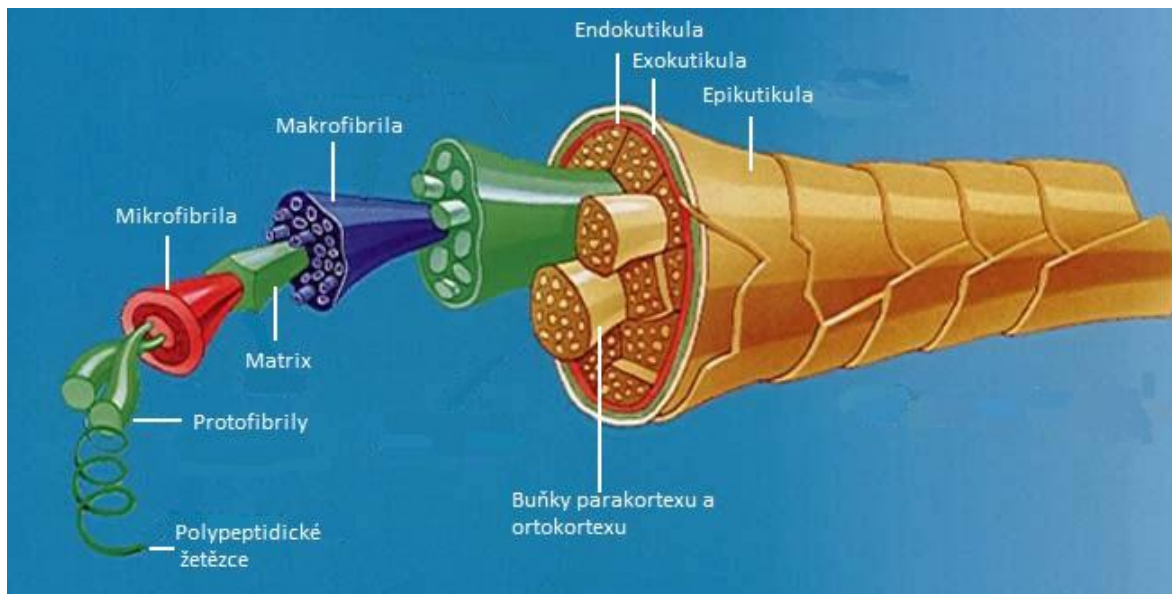
Stavba vlněného vlákna je velmi složitá. Lze ji však obecně rozložit do tří následujících složek:

Medula nebo také dřevina je část vlasu, která se vyskytuje jen u hrubých podřadných a méně kvalitních vln. Medula je tkáň obsahující vzduch a silně pigmentované a odumřelé buňky, které při vyšším podílu mohou snižovat pružnost vlákna. [8]

Kortex neboli jádro tvoří převážnou část celého vlasu. Elementárním stavebním prvkem je protofibrila, což jsou vlastně dva či tři stočené polypeptidické řetězce. Více protofibril vytváří mikrofibrilu, která se dále pojí do větší makrofibrily. [6] Tyto vřetenovité buňky jsou uloženy v pojivu (matrix). [1] Jádro má bilaterální strukturu, což znamená, že je složeno ze dvou chemicky i fyzikálně odlišných svazků, které jsou vzájemně stočeny. Jeden z nich se nazývá ortokortex, který je lépe deformovatelný, druhý je pak parakortex. Jejich podíl ve vlákne určuje jeho zkadeření. [6]

Kutikula je povrchová vrstva vlněného vlasu někdy nazývaná také kůra. Je složena z více vrstev, přičemž ta, která je uložena nejbližší kortexu je endokutikula, chemicky i mechanicky odolná část kůry. Dále od středu leží exokutikula, tedy vrstva šupinek. Nejvrchnější vrstva vlasu je jakási blána nazývaná epikutikula. Je vysoce hydrofobní, mechanicky méně odolná a chemicky inertní. [8] Obecně je kůra nositelkou lesku, plstivosti, a vzniku elektrostatického náboje. [9]

Šupiny jsou jakousi povrchovou modifikací kutikuly. Liší se velikostí a uspořádáním v závislosti na jakosti vlny, vždy jsou ale na vlasu šindelovitě uloženy a odstávající konce šupinek směřují ke špičce vlákna. Šupinky jsou blíže ke své špičce nepatrně zesíleny a jejich vnější okraje jsou zoubkované. [9]



Obr. 2 Struktura vlněného vlákna [2]

1.4. Plstění vlny

Plstění je charakteristickou vlastností vlněných vláken. K zaplštění dochází při působení vlhka a tepla, jejichž vlivem vlákna bobtnají a šupinky se tak oddálí od povrchu vlasu a působením mechanických sil se do sebe zaklesnou. Vlákná se tak už nemohou narovnat do své původní polohy a materiál se nejen plstí, ale také sráží. [9]

Pro pochopení principu plstění je třeba zmínit směrované třecí vlastnosti vlněného vlákna. V rounu na ovci jsou vlasy uloženy stejnosměrně a působí jako obrana proti pronikání mechanických nečistot. Takto orientované vlasy se nemohou plstít, kdežto v neorientovaném svazku se vlákna díky uložení šupin zaklesnou. [1]

Průběh a intenzita plstění jsou závislé na dalších faktorech:

Jemnost vláken

Jemné vlny s pravidelnými a mírně odstávajícími šupinkami jsou více elastické a zkadeřené, a proto jsou více náchylné k plstění a srážení.

Superkontrakce

Napomáhá zaklesnutí šupinek.

Obloučkovitost a rozdílná bobtnavost

Rozdílná bobtnavost parakortexu a orthokortexu činí vlákno více obloučkovitým, a tím i lépe plstitelným.

Rozdílné chemické složení v jednotlivých místech vlákna, která se mohou lišit obsahem jednotlivých aminokyselin

Špičky vláken mají vlivem povětrnosti narušenou strukturu šupinek, a proto se snadno plstí.

Druh příze či tkaniny

Lépe se plstí méně kroucené příze a tkaniny s volnou vazbou.

Chemické změny keratinu

Narušením vazeb ve struktuře vláken dochází k bobtnání, což podporuje zaplštění. [6] Plstivost je závislá rovněž na tvárnosti, tažnosti, pružnosti a mastnotě vlněných vláken. [9]

1.4.1. Princip neplstivých úprav

V některých případech je přirozená plstící schopnost vlny žádoucí, například při valchování nebo výrobě plstěných výrobků. Na druhé straně existují technologické úpravy, které mají plstivosti vlny zabránit, a tím poskytnou lepší uživatelské vlastnosti. Vlněný výrobek se totiž při běžném praní plstí, sráží, a tím se mění jeho vzhled i omak. Kromě toho, že neplstivé úpravy zlepšují uživatelské vlastnosti vlněných výrobků, mají také ve stadiu předúpravy důležitý význam pro zlepšení afinity materiálu před barvením a tiskem. Proto se neplstivě upravují vložky, česance, příze, ale i tkaniny či úplety. [6]

Neplstivých úprav bylo dle Blažeje [10] vyvinuto a patentováno více než 250, avšak v praxi se uplatňuje pouze zlomek z tohoto množství. Podstatou všech metod je modifikace šupinek na povrchu vláken, a tím snížení koeficientu směrového tření. Nikdy by ale nemělo dojít k úplnému odstranění kutikuly, protože vlna by pak byla velmi citlivá k vnějším vlivům a vlákno by bylo méně odolné v oděru a ztratilo by příjemný omak i tepelně-izolační vlastnosti. [6]

Způsoby neplstivých úprav jsou následující:

1. Narušení kutikuly

- mechanicky
- chemicky

Oxidační zpracování je založeno nejčastěji na působení peroxokyselin. Chlorační metody se řadí mezi nejstarší a jsou stále hojně využívány. Tyto metody však degradují vlněná vlákna, a proto neplstivého efektu nejde dosáhnout bez poškození materiálu.

- enzymaticky

Metoda taktéž určená k narušení šupinek některými druhy enzymů. Proces však vyžaduje delší časy zpracování a přesné dodržení podmínek vzhledem k citlivosti použitých enzymů. Výhodou je pak minimální dopad na životní prostředí ve srovnání s dalšími chemickými úpravami. [6]

2. Maskování vrstvy šupinek polymerním filmem

Tyto metody se vyvinuly spolu s požadavky na zlepšení praní vlny v domácnostech. Pro vytváření filmu na vláknech se užívají různé syntetické materiály jako polyamidy, polyakryláty či silikony. Nevýhodou je většinou negativní vliv povrstvení na omak výrobku. [11]

3. Kombinované postupy

Užívají se různé kombinace výše zmíněných metod pro dosažení lepšího výsledku. V současnosti snad nejčastěji užívaná je úprava chlor/Hercosett, která má zaručit, jak možnost opakovaného domácího praní (tzv. standard Superwash), tak i příjemnější omak výrobku. Tato metoda spočívá v přechlorování materiálu, čímž se zvýší povrchové napětí vlny, a tím se zaručí rovnoměrné nanesení směsové pryskyřice po celém povrchu vláken. [2, 11]

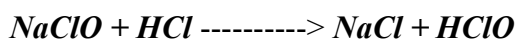
4. Alternativní metody

Šupinky je možné narušit také méně obvyklými způsoby, které nezatěžují odpadní vody a jsou šetrnější k životnímu prostředí. Jde např. o úpravu ultrazvukem, plazmou nebo laserem. Poslední zmíněná metoda bude prováděna v rámci této práce.

1.4.2. Chlorování

Chlorování je nejstarší a nejčastěji používaný postup pro dosažení neplstivé úpravy na vlně. Hlavním účelem je zlepšení afinity materiálu před tiskem, tak aby vzniklé vzory byly čisté s pravidelným okrajem. Dále chlorování snižuje sráživost materiálu, zvyšuje jeho lesk, zvyšuje také smáčivost a afinitu k barvivům, což vede k úspoře použitých chemikálií. Jde však o úpravu nepříliš šetrnou k vláknům, ani k přírodě. Veškeré chlorovací procesy, včetně dalších technologických variant, zatěžují životní prostředí svými odpadními rezidui. Chloruje se buď v kyselém nebo neutrálním prostředí za působení chlornanu sodného, plynného chloru, chlorové vody či solí s vysokým obsahem aktivního chloru. Novější modifikace klasické metody mají zpomalit prostup chloru do vlákna, a tím snížit jeho poškození. [6, 10]

Principem chlorování je, že díky chemickým reakcím se do lázně uvolňují aktivní kyslík **O** a chlor **Cl**. Aktivní kyslík je uvolněn z kyseliny chlorné **HClO** (dle vzorce 1) a umožňuje oxidaci cystinu obsaženého v šupinkách. Tím se cystin mění na kyselinu cysteovou, která je dobře rozpustná ve vodě. Proto šupinky bobtnají, měknou a jsou narušeny.



Vzniklý aktivní chlor **Cl** (vzorec 2) pak vstupuje do reakcí, které zapříčiňují modifikaci vlastností vlákna.



Nevýhodou však je, že tento volný chlor za přítomnosti vzdušné vlhkosti při skladování výrobku způsobuje poškození vláken. Proto je nutné po chlorování vždy řadit proces antichlorace, která dalšímu znehodnocení materiálu zabrání. [6]

Při chlorování dochází také ke změně jinak hydrofobního povrchu vlákna. Ten se chlorací mění na hydrofilní, a to díky nově vzniklým iontovým vrstvám způsobujícím souhlasný povrchový náboj vláken. Vlákná se pak odpuzují, čímž se sníží jejich vzájemné tření. Zároveň dochází k narušení šupinek, které se oddálí a umožní tak prostup kapaliny do vlákna. [10]

1.4.3. Enzymatická úprava

Enzymy jsou bílkoviny, které se významně podílejí na většině chemických reakcí probíhajících v živých organismech. Za předpokladu, že i nejjednodušší buňky obsahují přes 3000 enzymů, odhaduje se počet existujících enzymů na miliardy. Ovšem ty, které jsou známy, jsou pro zpřehlednění vedeny v mezinárodní nomenklatuře enzymů, každý pod tzv. EC číslem. V tomto systému jsou dále rozděleny do 6 skupin dle typu katalyzované reakce. Enzymy pro další využití jsou získávány z rostlinných či živočišných mikroorganismů, nebo jsou mikrobiálního původu. [12]

Působení enzymů je specifické, protože každý z nich uskutečňuje pouze určité typy reakcí. Odtud také pochází jejich názvy, které jsou vždy odvozeny od sloučeniny, kterou enzymy katalyzují. Ke svému účinku potřebují dodržení optimálních podmínek, jako je přesný čas, teplota nebo hodnota pH. Obecně enzymy pracují za mírných podmínek – myšleno při teplotě 20 až 40°C a pH okolo 7. [12]

Enzymů se hojně využívá v potravinářském, kvasném, papírenském průmyslu, farmacii či ve vědě a výzkumu. Uplatňují se však také v kožedělném nebo textilním průmyslu a při výrobě biodetergentů jako ekologičtější varianty klasických pracích prostředků. Enzymologie je také ekologickou variantou pro zušlechťování živočišných proteinových vláken. Vlna je čistě přírodní materiál, a pokud má být plně využito jejích typických vlastností, jeví se úprava enzymy jako velmi šetrná metoda. Je zjištěno, že enzymaticky upravená textilie má lepší omak než ta chlorovaná. Metody pro enzymatické úpravy jsou však relativně mladé. Využívají se asi 20 let. Možná právě díky nutnosti zavedení nových technologií a překonání prvotních překážek nejsou zatím tyto procesy v běžné praxi dostatečně rozšířeny. [4]

Pro zušlechťování vlněných vláken je prioritní skupina enzymů zvaných proteázy, které jsou schopny štěpit ovčí keratin. Dělí se na proteázy živočišné a rostlinné. V této práci bude využito živočišného enzymu zvaného trypsin s EC číslem 3.4.21.4. Je získáván z hovězího pankreasu a jeho optimum je v alkalické oblasti (pH 7-8). Byl zvolen pro jeho schopnost selektivně a účinně štěpit povrchové struktury šupinek a pak také díky relativně nízké ceně.

1.4.4. Úprava laserem

Laser je velmi silný zdroj světla, který je schopný bez přímého kontaktu soustředit vysoké množství energie do velmi malé plochy. Princip je takový, že dodaná vnější energie (buzení elektrickým pole, optické, chemické aj.) vybudí atom v aktivním prostředí laseru, ten přejde na vyšší energetickou hladinu, pak se náhodně vrací do základního stavu a uvolňuje přebytek energie ve formě fotonu. Foton spouští řetězovou emisi, a tím vzniká koherentní laserové světlo. Aktivní prostředí může být ve formě plynu, kapaliny, pevné látky, anebo polovodiče. Lasery jsou různé podle vlnové délky záření, to znamená podle části spektra, ve které zařízení pracuje. Dále podle typu buzení, režimu práce nebo počtu energetických hladin. [13]

Laser jako světlo je výjimečný tím, že je koherentní, tedy uspořádané a také má nepatrnou divergenci, tedy rozbíhavost. Proto se také laseru využívá napříč všemi různými obory, např. v průmyslových odvětvích, v lékařství, v letectví, v metrologii, ve výpočetní technice. Stopa, kterou laser zanechá na povrchu materiálu obecně, je velmi přesná, rychlá a stálá. [13]

Využití laserů v textilním průmyslu je široké, uplatňují se jak pro úpravy syntetických materiálů, tak i přírodních. Působením laseru lze ovlivňovat smáčivost materiálu, ale také měnit barevný odstín textilií, čehož se často uplatňuje například na denimech. [14, 15]

Další využití je v oblasti vzorování. Zde je velká výhoda možnosti vzorovat hotové výrobky, čímž se technologie velmi usnadňuje v porovnání s obvyklými mokkými barvicími či tiskacími metodami. Lasery lze také s výhodou použít pro řezání oděvních dílů, protože představuje velmi přesnou a čistou variantu klasického stříhání. [14]

2. Přenosy tepla a vlhkosti

2.1. Termoregulace

Lidské tělo je složitý biologický systém, který si sám utváří tepelné bariéry představující ochranu před přetížením teplem či chladem přicházejícími z okolí. Tělesná teplota totiž není stálá, ale tělo dokáže dynamicky reagovat na změny vnějších podmínek. Důležitými prvky termoregulačního systému jsou smyslové receptory, které předávají mozku signály o teplotě okolí, a potní žlázy, které jsou klíčové především za vyšších teplot, kdy představují aktivní složku dynamické tepelné bariéry. [16]

Centrem pro regulaci tělesné teploty je hypothalamus uložený v mozku, jehož úkolem je udržení stálé teploty jádra těla. Ta je udržována pomocí řízeného tepelného odporu, který je kladený nadměrnému ohřátí nebo ochlazení. Proces termoregulace je založen na bázi metabolických přeměn. Na jedné straně si tělo samo teplo vytváří, na straně druhé, to přebytečné musí být zase odvedeno. Organismus získává teplo díky látkovým přeměnám z potravy. Jeho množství je však různé, protože se odvíjí od míry vykonávané fyzické aktivity. Při mimořádně vysokých výkonech může metabolické teplo dosahovat hodnoty až 1kW. Proto je odvod tepla tolik důležitý, a pokud by k němu nedocházelo, teplota organismu v trvalém klidu by se zvyšovala každou hodinou o více než 1°C. [16]

2.2. Tepelná bilance

Zjednodušeně řečeno musí být zajištěna stálá rovnováha mezi produkovaným teplem a tepelnými ztrátami či výdeji. Tepelnou rovnováhu však snadno naruší jak vnější vlivy jako vítr, chlad, déšť či sníh, tak i ochlazování těla vlivem pocení. Proto člověk potřebuje umělou tepelnou bariéru. Tou jsou oděvy, které mají přirozenému termoregulačnímu systému těla napomáhat. Vytvářejí jakési mikroklima kolem těla a ovlivňují pocity nositele. [16]

Tepelnou rovnováhu demonstruje rovnice (3):

$$Q_M - Q_{DP} - Q_V - Q_{RL} - Q_{RS} = Q_R + Q_C = Q_{KO} [W] \quad (3)$$

kde:

Q_M	vnitřní metabolický vývin tepla v lidském těle
Q_{DP}	tepelná ztráta difuzí vodní páry povrchem těla
Q_V	tepelná ztráta odpařováním potu z povrchu těla
Q_{RL}	tepelná ztráta latentní respirací
Q_{RS}	tepelná ztráta suchou respirací
Q_{KO}	přenos tepla z povrchu těla na vnější povrch oděvu (vedení tepla oděvem)
Q_R	přenos tepla sáláním z povrchu oděného těla
Q_C	přenos tepla konvekcí z povrchu oděného těla

[16]

2.3. Přenos tepla mezi člověkem a vnějším prostředím

Za normálních podmínek je tělo ochlazováno asi ze 70 % pomocí konvekce a sálání. Podobně je tomu i při intenzivním ochlazování těla. Naopak při intenzivním ohřevu organismu se jako hlavní způsob pro odvod teploty uplatňuje vypařování (tepelné pocení). [16]

Konvekce (proudění)

Ke konvekci dochází za předpokladu, že mezi lidskou pokožkou a oděvem je vzduchová vrstva, ve které pomocí kapaliny nebo plynu dochází k přenosu tepla. V tomto prostoru je realizován teplotní spád. V závislosti na tloušťce mezní vrstvy rozlišujeme proudění laminární a intenzivnější turbulentní. Míra konvekce je ovlivněna teplotou a rychlostí okolního vzduchu. [17]

Radiace (sálání)

Radiace je přenos elektromagnetické energie ve formě vlnění, které při konkrétních hodnotách vlnových délek označujeme jako tepelné. Lidské tělo je schopno teplo radiací přijímat i vydávat. K výdeji tepla je nutné, aby teplota okolí byla nižší než teplota těla. [17]

Evaporace (vypařování)

Tímto způsobem je z těla odváděno teplo ve formě potu, respektive par. Musí platit, že tlak par v mezivrstvě je vyšší než tlak vzduchu v okolí. Analogické je to i s vlhkostí okolního vzduchu, do kterého se pot odpařuje. Vypařování je nejmarkantnější u odhaleného těla. V opačném případě velmi záleží také na sorpčních a transportních vlastnostech oděvních vrstev. [17]

Konduktce (vedení)

Teplo z těla může být přeneseno vedením pouze při styku s dalším objektem (např. textilií) a pouze v případě, že teplota okolí je nižší. Čím je rozdíl teplot vyšší, tím je přenos tepla rychlejší. Proces je však ovlivněn také tloušťkou přiléhající vrstvy či pohybem okolního vzduchu. V praxi se konduktce uplatňuje především při sezení, ležení či kontaktu chodidel se zemí při chůzi. Materiály, které mají přenosu tepla zabránit, nazýváme tepelnými izolanty. [17]

Při vysoké teplotě vnějšího prostředí významnou část odvodu tepla zajišťuje také dýchání neboli **respirace**. Latentní respirace představuje rozdíl obsahu vody mezi vzduchem vdechovaným a vydechovaným. Suchá respirace je pak poměrem mezi teplotami vzduchu vdechovaného a vydechovaného. [16]

Na odvodu tepla produkovaného tělem se částečně podílí také **difuze vodní páry** povrchovou kožní vrstvou, což je vlastně neznatelné pocení. Dochází k němu spojitě a trvale. Není však přímým předmětem termoregulace. [16]

2.4. Přenos vlhkosti mezi člověkem a vnějším prostředím

Jak již bylo výše zmíněno, při intenzivním ohřevu organismu je velká část tělesného tepla odváděna ve formě páry, čímž dochází k ochlazování. Plynná vlhkost může být přenášena vedením (tedy difuzí) nebo prouděním. Hnací silou je gradient, tedy rozdíl mezi parciálním tlakem povrchu těla a tlakem okolí. Při dostatečně vysokém gradientu dochází odparem vlhkosti k odvodu tepelného toku z nezahaleného těla.

Odvod potu z oděného lidského těla je však komplikovanější, protože musí být zohledněna přítomnost textilní vrstvy. Pot může být přenášen:

Kapilárně. Podmínkou kapilárního odvodu je vzájemný kontakt mezi kůží a oděvem. Pot vzlíná do textilní vrstvy, jejíž smáčecí schopnosti a povrchové napětí vláken spolu s tlakovým spádem ovlivňují intenzitu odvodu vlhkosti.

Difúzně. Pokud mezery mezi jednotlivými vrstvami jsou malé a oděv je málo prodyšný, potom je pára odváděna vedením skrze póry textilní vrstvy.

Sorpčně. Tento proces je pomalý a předpokládá určitý podíl sorpčních vláken v textilní struktuře. Vlhkost proniká do vláken textilie a váže se na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. [17]

3. Komfort

V souvislosti s oděvy se stále více mluví o komfortu, což je pojem velice obsáhlý. Nestačí totiž, aby byl oděv pouze pohodlný a estetický, ale má být také funkční. Nositel by při užívání vhodně zvoleného oblečení neměl pociťovat převažující teplo ani chlad. Komfort je tedy subjektivně vnímaný optimální stav a lze ho rozdělit do několika základních skupin: komfort psychologický, senzorický, patologický a termofyziologický.

Psychologický komfort vyjadřuje individualitu každého jedince. Je silně ovlivněn postavením, prostředím a poměry, ve kterých nositel žije.

Patologický komfort vyhodnocuje vzájemné působení chemického složení textilie a mikroklimatu pokožky. V negativním případě může dojít k podráždění pokožky, k alergickým projevům nebo vzniku ekzémů.

Senzorický komfort vyjadřuje pocity člověka při styku textilie s pokožkou. Je ovlivněn strukturou, mechanickými, ale i tepelnými vlastnostmi oděvu, proto úzce souvisí i s komfortem termofyziologickým.

Termofyziologický komfort představuje stav tepelné pohody, kdy lidský organismus nemusí regulovat teplotu a fyziologické funkce jsou v normálu. Tento typ komfortu je pro následující práci stěžejní, proto mu bude dále věnována vyšší pozornost. [17]

3.1. Termofyziologický komfort

Tento typ komfortu lze charakterizovat nejen pomocí tepelných veličin, jako jsou tepelná vodivost, odpor, jímavost nebo tepelný tok, ale také pomocí výparného odporu a paropropustnosti oděvních materiálů.

Stav tepelné pohody totiž výrazně ovlivňuje přítomnost vlhkosti v soustavě textilie a těla. Člověk stále produkuje určité množství potu závislé na námaze a okolních podmínkách. Při náročných aktivitách jde až o množství okolo 550 g/m²/hod. Vlhkost, která se pak vyskytuje mezi oděvem a pokožkou musí být odvedena textilií. Pokud je odvod potu nedostatečný, je teplo odváděno pouze krví a dochází k přehřívání organismu. Stejně tak prostup okolní vlhkosti do oděvu zapříčiňuje diskomfort nositele. Proto z hlediska termofyziologického komfortu jsou velmi důležité nejen tepelně

izolační vlastnosti oděvů, ale také jejich prodyšnost a schopnost propouštět vodní páry. [17]

Pro ideální termofyziologický stav byly stanoveny následující podmínky:

Teplota pokožky 33 – 35 °C

Relativní vlhkost vzduchu $50 \pm 10 \%$

Rychlost proudění vzduchu $25 \pm 10 \text{ cm} \times \text{s}^{-1}$

Obsah CO₂ 0,07%

Nepřítomnost vody na pokožce

Termofyziologický komfort je tedy stav ovlivněný mnoha faktory. Výzkumem byl vytvořen empirický vztah pro jeho objektivní hodnocení:

$$TfK = \alpha_1 i_{mt} + \alpha_2 F_i + \alpha_3 K_d + \alpha_4 \beta_T + \alpha_5 K_f + \beta \quad (4)$$

kde:

Konstanty:

$$\alpha_1 = -5,640 \quad \alpha_4 = -4,512$$

$$\alpha_2 = -0,375 \quad \alpha_5 = -4,532$$

$$\alpha_3 = -1,587 \quad \beta = 11,553$$

Normální situaci při nošení oděvu popisují dvě veličiny:

i_{mt} index prostupu vodních par

F_i schopnost krátkodobého přijímání par [%]

Při nestacionárním stavu, tedy při pocení, se do vztahu zapojují také veličiny:

K_d hodnota vyrovnávání vlhkosti

B_T hodnota vyrovnávání teploty [$\text{K} \times \text{min}^{-1}$]

K_f pufrační veličina

F_1 propustnost vlhkosti [$\text{g} \times \text{m}^{-2} \times \text{h} \times \text{mbar}^{-1}$]

R_{et} tepelná izolace vlhké textilie [$\text{m}^2 \times \text{mbar} \times \text{W}^{-1}$]

Výsledná hodnota vztahu se pohybuje mezi 1 (velmi dobré) do 6 (nedostatečné). [17]

3.2. Přehled metod pro měření parametrů termofyziologického komfortu

Termofyziologický komfort lze zjednodušeně charakterizovat pomocí tepelného a výparného odporu. Jak již bylo dříve vysvětleno, odvod vlhkosti hraje důležitou roli při ochlazování těla. Proto je paropropustnost textilií významným parametrem. Klasické metody pro měření propustnosti vodních par, jako GRAVIMETRICKÁ METODA nebo DREO METODA, jsou založeny na sledování objemu kapaliny, kterou textilie dokáže pojmout a odvést ze své struktury. Tyto procesy jsou však často zdlouhavé a výsledky méně přesné.

Aby bylo možné věrněji simulovat přenos tepla a hmoty mezi lidskou pokožkou a oděvem, byly vyvinuty další přístroje nazývané SKIN MODEL a PERMETEST. Oba jsou založeny na stejném principu, kdy vyhřívaná a zavlhčovaná hlavice představuje lidskou kůži ochlazovanou pocením. Na ni je přes membránu uložen zkoušený vzorek a je sledován odpar, potažmo propustnost textilie pro vodní páry. Oba přístroje umožňují také měření tepelného odporu a také dokážou provádět měření za různých teplot, vlhkostí a rychlostech proudění vzduchu, čímž napodobují proměnlivé podmínky při nošení oděvů. Výhodou Permetestu je krátká doba měření a možnost jeho užití za běžných klimatických podmínek.

Nejnovější metody se snaží co nejvíce přiblížit skutečnému fyziologickému režimu člověka. Takové modely jsou vlastně tepelné stroje rozdělené na více segmentů, které simulují teploty lidského těla. Použité materiály jsou svými tepelnými vlastnostmi blízké pokožce. Proto je toto zařízení, které umožňuje měření tepelných odporů, nazýváno TEPELNÝ MANEKÝN. Některé typy těchto strojů jsou uzpůsobeny také k měření přenosů páry, avšak zde je velmi složitá obsluha i vysoká cena.

Pro hodnocení termofyziologického komfortu je kromě přenosů tepla a hmoty důležitý také tepelný omak. Tento parametr vyjadřuje přechodný tepelný pocit každého konkrétního jedince, a proto je jeho hodnocení vnímáno spíše jako subjektivní. Pro objektivní měření však byly také vyvinuty přístroje. Jedním z nich je THERMO-LABO, který pro stanovení tepelně-kontaktních vlastností textilie měří maximální úroveň kontaktního tepelného toku $q_{max} [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$. Postup měření je však dosti těžkopádný a vyhodnocení výsledků matematicky náročné. Dalším přístrojem je ALAMBETA, jehož obsluha je velmi snadná a výsledky jsou přesné i při standardních podmínkách.

Alambeta však není určena pouze k vyhodnocení tepelného omaku, ale měří další termofyzikální vlastnosti. Přístroj bude dále popsán, protože byl použit v této práci. [17]

3.2.1. Přístroj Alambeta

Kontakt lidské pokožky s textilií je zde simulován pomocí vyhřívaných ploch, které jsou udržovány na konstantní teplotě. Dolní snímač na teplotě okolí, horní snímač při teplotě vyšší asi o 10 °C odpovídající průměrné teplotě lidské kůže (32 – 35 °C). Tyto plochy přicházejí do styku s měřenými textilními materiály. Přístroj měří termofyziologické parametry textilií, a to stacionární i dynamické. Prvními zmiňovanými jsou tepelně-izolační vlastnosti jako tepelný odpor a tepelná vodivost. Měřenými hodnotami závislými na čase jsou pak tepelná jímavost a tepelný tok. [17]

Měřené parametry

Plošný odpor vedení tepla R

$$R = \frac{h}{\lambda} \left[\frac{K \times m^2}{W} \right] \quad (5)$$

kde h je tloušťka materiálu a λ je jeho tepelná vodivost.

Parametr tepelného odporu popisuje množství tepla, které projde vrstvou materiálu o určité ploše za jednotku času při teplotním spádu. Platí, že čím je nižší tepelná vodivost, tím vyšší je tepelný odpor. Vysoká hodnota R značí, že materiál odvádí teplo méně a je tedy i lepším izolantem.

Hodnotu, kterou uvádí přístroj je nutno dělit 10^3 .

Měrná tepelná vodivost λ

$$\lambda = \frac{h}{R} \left[\frac{W}{m \times K} \right] \quad (6)$$

kde h je tloušťka materiálu a R jeho tepelný odpor

Součinitel měrné tepelné vodivosti představuje množství tepla, které proteče za jednotku délky a vytvoří rozdíl teplot 1K. Hodnota tepelné vodivosti klesá s rostoucí teplotou. Naopak při nárůstu tepelné vodivosti klesá tepelný odpor.

Hodnotu, kterou uvádí přístroj je nutno dělit 10^3 .

Tepelná jímavost b

$$b = \sqrt{\lambda \times \rho \times c} \left[\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{K \times m^2} \right] \quad (7)$$

kde λ je tepelná vodivost a $\rho \times c$ [$J \times kg^{-1} \times K^{-1}$] je tepelná kapacita textilie představující množství tepla, které je potřebné pro ohřátí 1 kg látky o 1K.

Tepelná jímavost, parametr určující tepelný omak, představuje množství tepla, které při určitém čase a při rozdílu teplot 1K proteče jednotkou plochy v důsledku akumulace tepla v jednotkovém objemu. Materiál s vyšší tepelnou jímavostí je pocíťován na omak jako chladnější, hodnoty asi pod $b = 300$ jsou vnímány jako teplejší. Na změny tepelného omaku má vliv vlhkost. U zavlhčených oděvů hodnota tepelné jímavosti stoupá.

Tepelný tok q

$$q = b \frac{t_2 - t_1}{\sqrt{\pi \times \tau}} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (8)$$

Pro krátkou dobu kontaktu platí

kde b je tepelná jímavost, t_1 a t_2 jsou teploty pokožky a textilie.

Tento parametr udává množství tepla, které se za jednotku šíří z pokožky o teplotě t_2 do textilie s počáteční teplotou t_1 .

Měrná teplotní vodivost a

$$a = \frac{\lambda}{c \times \rho} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (9)$$

kde c je tepelná kapacita.

Měrná teplotní vodivost pak vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat teplotní změny. Vyšší hodnota a znamená, že se látka při nestacionárním procesu rychleji vyrovnává s teplotou.

Poměr maximálního a ustáleného toku p [-]

$$p = \frac{q_{\max}}{q_s} \quad (10)$$

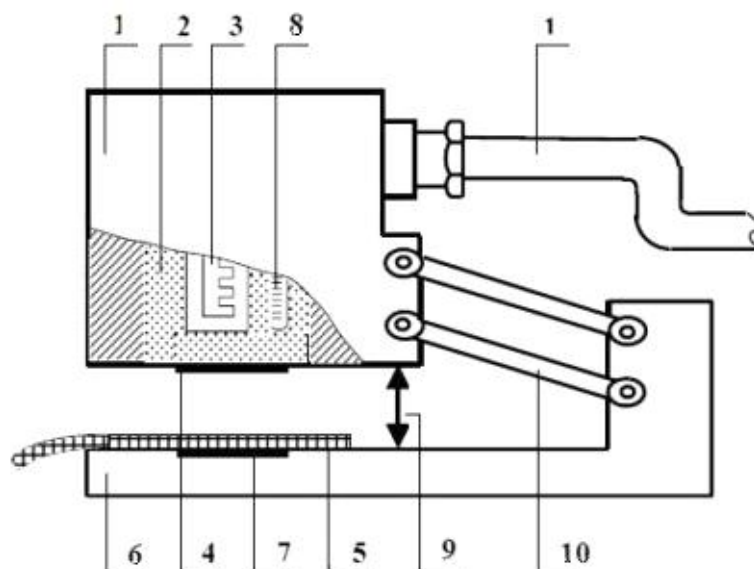
kde q_{\max} představuje maximální tok a q_s ustálený tepelný tok.

Tloušťka h [mm]

Popis přístroje

Přístroj je poloautomatický, je uzpůsobený k vyhodnocování statistických hodnot naměřených údajů a obsahuje autodiagnostický program, který zabraňuje chybným operacím. Princip měření spočívá ve sledování průběhu tepelného toku mezi vzorkem (5) a snímačem pro přímé měření tepelného toku (4). Vzorek je udržován snímačem (7) na konstantní teplotě. Při dosednutí vrchní hlavice (1) se povrchová teplota vzorku začne měnit a zaznamenává se průběh tepelného toku. Vyhodnocení prvotního kontaktu je velmi rychlé, proto se dá přirovnat k pocitu lidské pokožky při styku s textilií. Jako parametr hodnotící tepelný omak je zde zavedena tepelná jímavost.

Snímač tepelného toku je připevněn ke kovovému bloku (2) s konstantní teplotou, který je uložen v hlavici přístroje (1). Hlavice je zahřívána topným tělesem (3), které je propojeno s teploměrem (8). Vrchní část přístroje je pomocí vedení (10) připevněna k základně (6). Měření vzdálenosti (9) mezi hlavicemi umožňuje při jejich dosednutí zaznamenat tloušťku materiálu.



Obr. 3 Schéma přístroje Alambeta [17]

Přístroj Alambeta umožňuje také měření vlhkostní jímavosti. Zkouška simuluje kontakt mezi vlhkou pokožkou a suchým vzorkem. Lidská pokožka je zde nahrazena speciálním zvlhčeným úpletem, který se ukládá mezi vzorek a horní teplotní snímač.

Pro další rozšíření variant měření na Alambetě je možné nastavit různé přitlaky hlavice nebo teploty horního snímače. [17]

4. Tepelné vlastnosti vlněného vlákna v závislosti na vlhkosti

4.1. Tepelná izolace

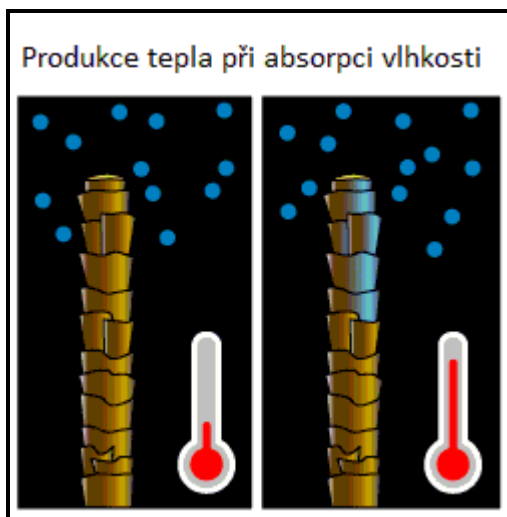
Jak již bylo uvedeno výše, oděvy představují umělou tepelnou bariéru, která chrání nositele před teplem a chladem. Napomáhá tedy termoregulačnímu systému organismu vyrovnávat změny teplot. Udržení tepla a ochrana proti chladu je jedna z nejdůležitějších požadavků na oděvy obecně. Izolaci nezajišťují však pouze samotná vlákna, ale především vzduch obsažený v nich nebo v celé hotové textilií. Vzduch má totiž výrazně nižší tepelnou vodivost a vyšší tepelný odpor než používané textilní materiály. Proto množství vzduchu a jeho rozložení v textilním materiálu je hlavní podmínkou dobré tepelné izolace.

Šupinkovitá struktura vlněného vlákna zajišťuje zadržení velkého množství vzduchu. Je to díky šupinkám, které se vzájemně zaklesnou a utvoří tak semknutou strukturu. [1, 18]

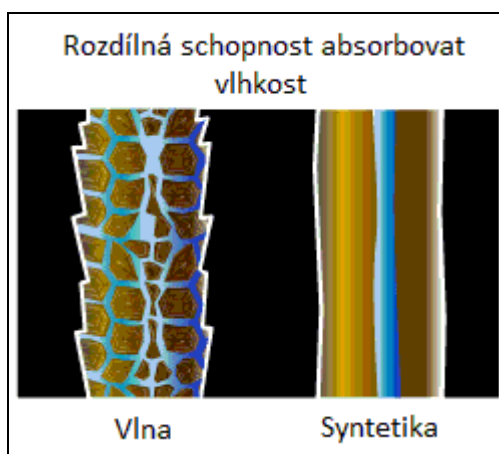
4.2. Teplo sorpce a teplý omak

Kromě vzduchu přijímá vlněné vlákno do své struktury také velké množství vlhkosti. U běžné vlny jde až o 30 % vody v poměru ke své hmotnosti. U jemných merino vln se jedná o hodnoty ještě vyšší. [18] Je to dáno dvěma faktory. Prvním je specifické chemické uspořádání, konkrétně přítomnost aminokyselin s +OH skupinami, které jsou afinní zejména k molekulám vody. Druhým faktorem je již zmiňovaná povrchová struktura se šupinkami. [6]

Při sorpci vlhkosti vlna dokáže produkovat teplo. Absorbovaná vodní pára se z plynu mění na kapalinu a tato fázová změna produkuje teplo (Obr. 4). Jeho množství nemusí být příliš vysoké, avšak stačí k tomu, aby nositel nevnímal vlhký vlněný oděv při styku s pokožkou jako studený. Tento proces postupného uvolňování tepla poskytuje nositeli možnost aklimatizace. Pro srovnání – syntetické materiály, které neabsorbují tolik vlhkosti jako vlákna přírodní, se jeví za vlhka jako výrazně chladnější. Tepelná vodivost takových materiálů je při stejném zavlhčení výrazně vyšší než tepelná vodivost vlny (Obr.5). [1, 18]



Obr. 4 Produkce tepla při absorpci vlhkosti [18]

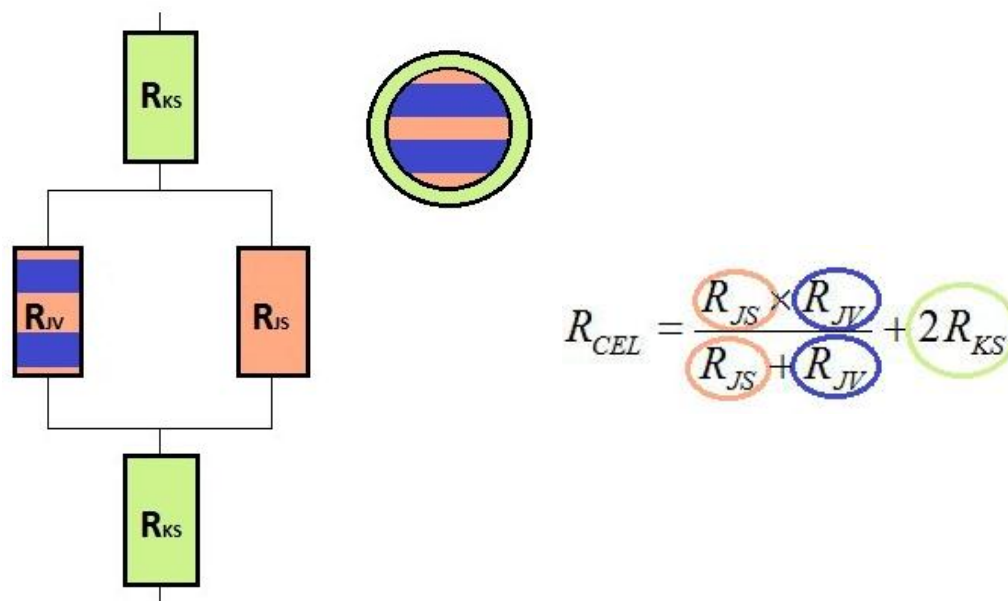


Obr. 5 Rozdílná schopnost absorbovat vlhkost [18]

4.3. Stacionární model neupraveného vlněného vlákna

Následující schémata (Obr. 6 a 7) zjednodušeně ilustrují průřez vlněným vláknem. Zelená vrstva představuje kutikulu, červená představuje jádro vlákna. Voda vázaná ve vlákně je znázorněna modře. Tento model je popsán pomocí tepelných odporů a je doplněn vzorci pro celkový odpor vlněného vlákna s podílem vody.

Neupravené vlněné vlákno má na svém povrchu vrstvu šupin (kutikula), která je silně hydrofobní. Na zjednodušeném stacionárním modelu tepelného odporu nativního vlněného vlákna má tato vrstva odpory R_{KS} (Obr. 6).

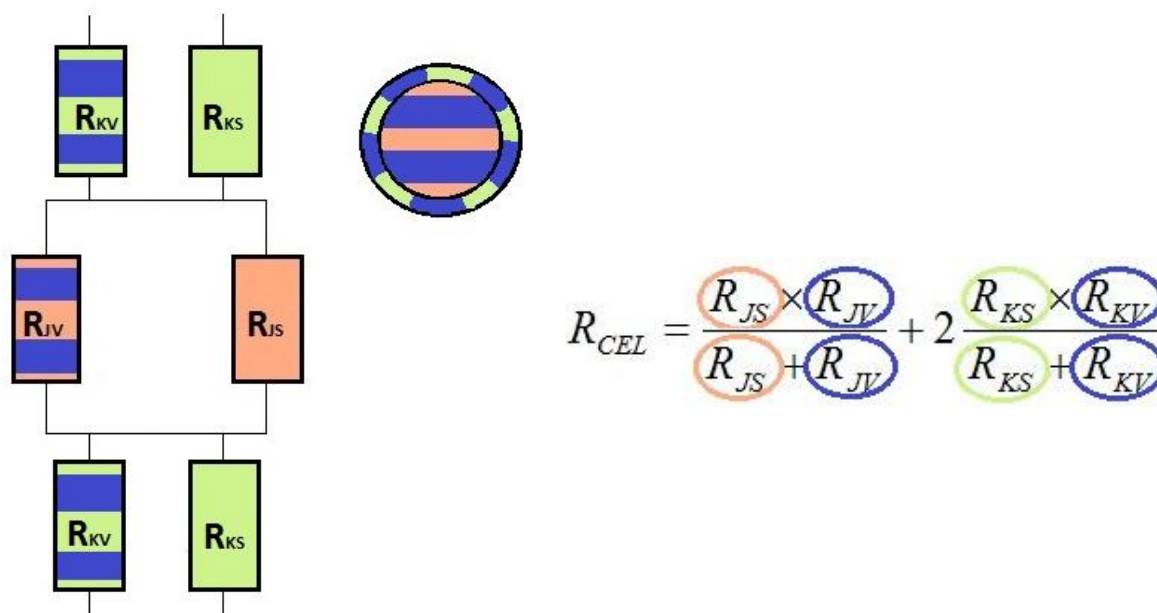


Obr. 6 Schéma zjednodušeného stacionárního modelu neupraveného vlněného vlákna

Jádro vlákna je rozděleno na část suchou s odporem R_{JS} a část s podílem vody vázanou ve struktuře vlákna s odporem R_{JV} . To znamená, že při působení vlhkosti na vlákno je voda vázána pouze v hydrofilním jádru. Tepelná vodivost suché vlny se pohybuje mezi $0,035-0,04 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$, kdežto tepelná vodivost vody je $0,6 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$. Takže voda vede teplo asi 15 krát lépe než vlna, proto vlákno s obsahem vody vykazuje celkově vyšší tepelnou vodivost a potažmo i nižší tepelný odpor než vlákno suché. Přesto kutikula stále zůstává relativně suchá, a proto se omak vlhké vlněné tkaniny jeví jako suchý a do určité míry i teplý.

Kortex zaujímá 70-90 % hmoty vlákna [8], což znamená, že má na celkový odpor významnější vliv než kutikula. Pokud tedy jádro obsahuje vlhkost, snižuje tím významně odpor celého vlákna. Přestože si kutikula stále zachovává tepelný odpor vysoký. Tuto svoji „negativní“ vlastnost však jádro vyvažuje tím, že díky dobrým absorpčním schopnostem dokáže pojmout vlhkost i z prostorů mezi vlákny. A proto potažmo celý textilní útvar působí déle jako suchý.

U **vlněných vláken upravených** je však kutikula narušena, stává se hydrofilní a díky podílu vody se zvyšuje její tepelná vodivost. Dle jednoduchého schématu vlhkého upraveného vlněného vlákna (Obr. 7) je patrné, že voda snižující tepelný odpor je vázána jak v jádře (R_{JV}), tak i v kutikule (R_{KV}). Z toho vyplývá, že celkový odpor takového vlákna se rapidně snižuje v porovnání s neupraveným vlněným vláknem.



Obr. 7 Schéma zjednodušeného stacionárního modelu upraveného vlněného vlákna

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5. Provedení neplstivých úprav

Dvě neupravené 100% vlněné tkaniny byly podrobeny třem typům neplstivých úprav. Konkrétně bylo provedeno chlorování v kyselém prostředí, enzymatická úprava pomocí proteázy trypsin a povrchová úprava laserem. Každá z těchto úprav byla na tkaniny aplikována ve třech odlišných stupních koncentrace, respektive době působení. Každý stupeň úpravy byl proveden na 3 exemplářích. Celkově tedy bylo proměřováno 30 vzorků od každé ze dvou tkanin označených A a B.

Neupravené i upravené vzorky byly následně měřeny na přístroji Alambeta za různých stupňů zavlhčení. Z naměřených hodnot tepelného odporu R , tepelné vodivosti λ a tepelné jímavosti b byly sestaveny regresní závislosti těchto tepelných vlastností na stupni zavlhčení a typu neplstivé úpravy.

5.1. Vzorky

Pro tuto práci byla zvolena dvojice 100% vlněných tkanin, které ve výrobním procesu neprošly neplstivou úpravou. Vzhledem k velmi specifickým požadavkům v zadání práce a také k obtížné dostupnosti neupravených tkanin na trhu, nebylo možné zajistit tkaniny s výrazně odlišnou jemností vláken. U obou tkanin je v osnově použita příze vyrobená ze stejné partie vlny, liší se pouze v útku. Průměrná jemnost vlněných vláken v obou tkaninách se tedy pohybuje mezi 19,5 až 22,2 μm . Tím se řadí mezi jemné až středně jemné vlny. Ukázky tkanin jsou uloženy v příloze I.

Vzorek A

Gramáž: 270 g/m²

Osnova: 24tex \times 2S

Útek: 24tex \times 2S

Dostava: osnova: 328 nití / 10 cm

útek: 286 nití / 10 cm

Vazba: desetivazný atlas přísazovaný

Výrobce: Nová Mosilana, a.s. Brno

Vzorek B

Gramáž: 290 g/m²

Osnova: 24tex \times 2S

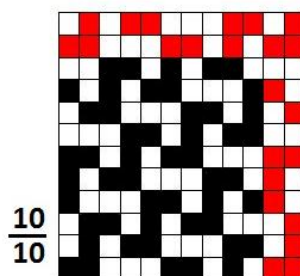
Útek: 22tex Z

Dostava: osnova: 300 nití / 10 cm

útek: 280 nití / 10 cm

Vazba: desetivazný atlas přísazovaný

Výrobce: Nová Mosilana, a.s. Brno



Obr. 8 Vzornice vazby pro tkaninu A i B

5.2. Chlorování v kyselém prostředí

5.2.1. Příprava chlorování

Pro zkoušku bylo připraveno 9 vzorků od každého materiálu. Pro každou trojici vzorků byla připravena konkrétní lázeň. Parametry lázní byly zvoleny tak, aby se lišily v koncentraci aktivního chloru a také v době působení lázně na materiál:

Koncentrace 1: 1 g/l aktivního chloru, doba působení 30 minut

Lázeň 3 pro materiál A a 6 pro materiál B

Koncentrace 2: 0,5 g/l aktivního chloru, doba působení 60 minut

Lázeň 2 pro materiál A a 5 pro materiál B

Koncentrace 3: 1 g/l aktivního chloru, doba působení 60 minut

Lázeň 1 pro materiál A a 4 pro materiál B

Ke každé trojici vzorků byl přiložen ještě malý kousek tkaniny určený pro zkoušky plstivosti a barvení, které se po chlorování provádí. Veškerý materiál pro každou variantu úpravy byl zvážěn a dle předpisu byla vypočítána velikost lázně a množství použitých chemikálií (viz. Tab. 1).

Chlorovací lázeň: 0,5 nebo 1 g/l aktivního chloru
3 ml/l kyseliny sírové H_2SO_4 koncentrované
délka lázně 1:40
pH = 4

Množství aktivního chloru bylo možné zjistit až po stanovení hustoty použitého chlornanu sodného $NaClO$ (60g/l), která v daný okamžik byla 1,221 kg/l. Tato hodnota byla porovnána s tabelovanými hodnotami, podle kterých byla koncentrace aktivního chloru v užitém chlornanu sodném stanovena na 156,27 g/l. Pak bylo možné vypočíst množství chlornanu pro každou ze šesti lázní. Objem roztoku byl vypočítán dle délky lázně 1:40, kde první číslo označuje množství materiálu a druhé číslo objem lázně.

Tab. 1 Vypočtené množství chemikálií určených pro chlorování

Tkanina	Lázeň	Hmotnost vzorků [g]	Objem lázně [ml]	Obsah chloru v lázni [g]	Obsah akt. chloru při dané koncentraci [g]	Obsah H_2SO_4 [ml]
A	1	17,6	704	0,704	4,50	2,1120
	2	17,2	688	0,344	2,20	2,0640
	3	17,5	700	0,700	4,48	2,1000
B	4	17,7	708	0,708	4,53	2,1240
	5	17,5	700	0,350	2,24	2,1000
	6	17,4	696	0,696	4,45	2,0880

5.2.2. Postup chlorování a antichlorování

Nejprve bylo nutné všechny vzorky smočit v kationaktivním egalizačním přípravku *Syntapon ABA* (50g/l). Dle rozpisu 1 g/l smáčedla při délce lázně 1:40 bylo zvoleno na 2 litry vody 40 ml přípravku. Po smočení a následném opláchnutí ve vodě byly vzorky dále vloženy na 10 minut do lázně obsahující 6 % kyseliny chlorovodíkové HCl (35%). Tento roztok byl složen z 1160 ml vody a 240 g kyseliny. Takto impregnované vzorky byly poté bez odmačknutí vloženy do chlorovací lázně.

Šest chlorovacích lázní bylo připraveno dle rozpisů (Tab. 1). Chlorování bylo provedeno při laboratorní teplotě, a to po určenou dobu 60 nebo 30 minut. Po opláchnutí vodou byly vzorky okyseleny v lázni s obsahem 3 ml/l koncentrované kyseliny sírové H_2SO_4 a opět opláchnuty.

Po chlorování musí vždy následovat antichlorování, které zbavuje materiál přebytečného chloru. Bylo provedeno v lázni obsahující 2 % disířičitanu sodného $Na_2S_2O_5$ (60 g/l). Jeden litr lázně tedy obsahoval 20g $Na_2S_2O_5$ a 980ml vody. Antichlorování probíhalo při teplotě mezi 30 až 40 °C po dobu 20 minut.

5.2.3. Zkouška plstivosti

Ověření chlorování se provádí pomocí dvou zkoušek. Zkouška plstivosti je založena na porovnání rozměrových změn vlněných vzorků upravených a neupravených po působení mýdlové lázně. U chlorovaných a nechlorovaných čtvercových vzorků byly nejprve přesně změřeny délky úhlopříček. Poté byly vloženy do lázně 4 g/l mýdlových vloček a 2 g/l sody $Na_2CO_3 \cdot 10 H_2O$. Na 150ml roztok bylo tedy použito 0,6 g mýdla a 0,3 g sody. Lázeň byla udržována na teplotě 50 °C po dobu 30 minut a vzorky byly v průběhu zkoušky hněteny. Poté byly opláchnuty, sušeny v sušárně při 60 °C po krátkou dobu a následně vyžehleny. Pak byly změřeny délky úhlopříček a porovnány s úhlopříčkami vzorků před zkouškou (viz. Příloha II). Výsledky vyjádřené v procentech uvádí tabulka (Tab. 2).

Tab. 2 Rozměrové změny po zkoušce plstivosti

Vzorky	Průměrná změna délek úhlopříček [%]
A neupravený	7,5
A lázeň 1	1,5
A lázeň 2	3,0
A lázeň 3	2,0
B neupravený	7,5
B lázeň 1	1,0
B lázeň 2	2,5
B lázeň 3	1,5

Z výsledků je patrné, že změny rozměrů neupravené původní tkaniny oproti upraveným jsou po vystavení mýdlovému roztoku výrazně vyšší. To znamená, že chlorování proběhlo v pořádku a propůjčuje tkaninám neplstivý efekt.

5.2.4. Zkouška obarvení

Zkouška obarvení má dokázat, že tkaniny získávají úpravou vyšší afinitu především ke kyselým barvivům. Malé vzorky tkanin nechlorovaných a chlorovaných byly proto po dobu 30 až 40 minut a při laboratorní teplotě barveny v následující lázni:

0,3 g/l Egacidové červeně G (5 g/l) – kyselé barvivo

5 ml/l 1N-HCl

Délka lázně 1:100

Při celkové hmotnosti zkušebních vzorků 1,12 g byl objem lázně 112 ml s 6,72 ml barviva a 0,56 ml kyseliny chlorovodíkové *HCl*. Po vyjmutí z barvicí lázně byly vzorky vysušeny a následně byla opticky posouzena míra jejich obarvení. Neupravené vzorky se obarvily méně než chlorované, což potvrdilo zlepšení afinity k barvivům vlivem úpravy. Rozdíl odstínů sice nebyl příliš markantní, avšak je nutné brát zřetel na to, že zkouška barvením je závislá také na jakosti použité vlny. Některé typy vln se obarví snáze než jiné. Navíc zlepšená afinita k barvivům je až druhotným produktem chlorování.

5.3. Enzymatická úprava

5.3.1. Příprava

Před samotnou úpravou byl každý vzorek vysušen na suchou váhu. Tato hmotnost byla následně porovnávána se suchou hmotností vzorků podrobených enzymatické úpravě. Očekávaný úbytek hmotnosti dokázal odstranění části šupinek vlivem působení Trypsinu.

Pro provedené enzymatické úpravy byl zvolen barvicí aparát Ahiba s 12 patronami vyrobenými z nerezového materiálu. Patrony se pohybovaly v prostoru s vodou udržovanou na stálé zvolené teplotě, což udržovalo enzymatickou lázeň v patronách při konstantní teplotě. Pohyb patron zajistil stálou cirkulaci lázně.

Patrony byly před samotnou úpravou vymyty saponátem, omyty destilovanou vodou, vypláchnuty etanolem a opět omyty destilovanou vodou. Nechaly se uschnout do dalšího dne, kdy byla provedena enzymatická úprava.

Pro zkoušku bylo připraveno 9 vzorků od každého materiálu. Všechny vzorky byly nejprve vyprány v lázni obsahující 0,7 g/l neionogenního pracího přípravku Spolion 8. Smočení probíhalo při teplotě lázně 30 °C po dobu 10 minut. Poté byly vzorky vymáčány a ponechány k usušení při laboratorní teplotě.

5.3.2. Enzymatická hydrolýza

Následující postup enzymatické hydrolýzy byl zvolen dle disertační práce Mgr. Ireny Šlamborové, PhD. [4]. Jako působící enzym byl zvolen Trypsin, živočišná protéza. Pro zpracování enzymu bylo nutné použít fosfátový pufr pH = 7,2 a aktivátor chlorid vápenatý *CaCl₂*.

Vzorky byly uloženy do roztoku pufru s příslušným enzymem a aktivátorem v poměru:

1 mg enzymu / 1 ml pufru

0,5 mg aktivátoru / 1 mg enzymu

Každý vzorek byl vložen do patrony barvicího aparátu obsahující 135 ml pufru, dále 0,135 g enzymu a 0,068 g aktivátoru. Po 60-ti, 90-ti a 120-ti minutách inkubace při teplotě 30 °C byly vzorky z patron vyjmuty, opláchnuty v destilované vodě a vysušeny na suchou hmotnost, aby byl zjištěn úbytek váhy. Změny hmotnosti jsou uvedeny v příloze II, finální hmotností úbytky uvádí tabulka 3.

Dle práce [4] je přijatelný hmotnostní úbytek pro vlněné vlákno 9%. Vyšší úbytek vede ke zhoršení pevnosti a tažnosti vláken. Očekávaný úbytek na hmotnosti vlněných vláken v chomáči po působení trypsinu je kolem 4,5 %. Z tabulky (Tab. 3) je patrné, že takového úbytku nebylo dosaženo, což může být způsobeno tím, že v tomto případě probíhala úprava tkaniny. Proto se pravděpodobně enzymy do struktury tkaniny dostávaly obtížněji, a tudíž nemohly tak snadno reagovat i s vlákny uloženými hlouběji ve tkanině. Přesto hmotnostní úbytek demonstruje, že enzym dokázal narušit a odstranit určitou část kutikuly.

Tab. 3 Změny hmotností vzorků po enzymatické digesti

Vzorek	Hmotnostní úbytek [%]	Vzorek	Hmotnostní úbytek [%]
A 60-1	3,98	B60-1	3,76
A 60-2	3,84	B 60-2	3,86
A 60-3	4,08	B 60-3	4,06
A 90-1	4,03	B 90-1	4,11
A 90-2	4,00	B 90-2	3,98
A 90-3	4,13	B 90-3	4,24
A 120-1	4,35	B 120-1	4,16
A 120-2	4,21	B 120-2	4,49
A 120-3	4,20	B 120-3	4,21

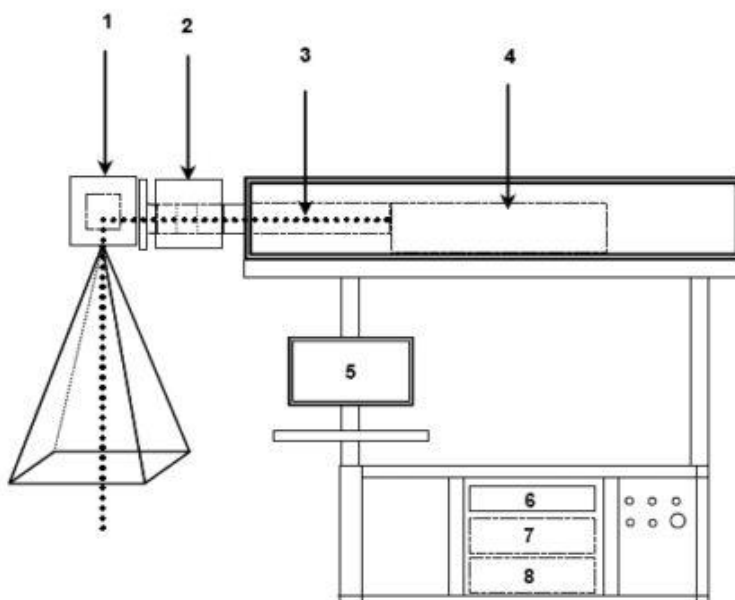
Na náhodných enzymaticky upravených vzorcích byla provedena, stejným způsobem jako u chlorovaných tkanin, zkouška plstivosti. U vlny, na kterou byly aplikovány enzymy, nedošlo praním v mýdlové lázni k téměř žádným rozměrovým změnám. To dokazuje, že provedená úprava propůjčila vlně neplstivý efekt

5.4.Laser

5.4.1. Popis zařízení

Pro ozáření vzorků byl zvolen plynový CO₂laser, který pracuje v pulzním režimu. Nazývá se Marcatex 150 Flexi a je určen pro průmyslové aplikace, především pro řezání, svařování či designování. Jde o kompaktní systém, který je propojen s počítačem. Pracuje na vlnové délce 10,6 μm spadající do IR oblasti, která není pro lidské oko viditelná. Laser na předložený materiál působí teplem, které je lokální a velmi intenzivní. Avšak pulzní laserový rezonátor má tu schopnost, že teplotní vliv je velmi krátký a rychlý, což eliminuje poškození materiálu. Laserový paprsek reaguje s vláknem tak, že se materiál vypařuje, rozkládá nebo mění svoji povrchovou strukturu. [15]

Princip tohoto zařízení je naznačen na schématu (*Obr. 9*). Nejdůležitější součástí je optická skříň (3), kde jsou čočka, dioda, zrcadlo a expandér paprsku. Optická trubice (2) stimuluje paprsek dle zadaných kritérií. Vede jej do optického rezonátoru (1), odtud je zaměřen na materiál. Velikost značící plochy je volitelná až do rozměru 80 × 80 cm. Laserový paprsek je modulován ve značící hlavici (4), která je propojena s počítačem (5). Přístroj dále obsahuje PC modul (6) a zdroje (7) a (8).



Obr. 9 Schéma laseru Marcatex 150 Flexi

5.4.2. Postup laserové úpravy

Při vzorování laserem je vždy nutné připravený, aby byl požadovaný vzor předložen softwaru počítače a následně bylo nalezeno nejvhodnější nastavení laseru tak, aby byl vzor viditelný a přitom příliš nezničil textilii. I úprava povrchu proto byla provedena tímto způsobem, avšak vypálení vzoru muselo být velmi citlivé. Účelem totiž nebylo na tkaninu přenést viditelný vzor, ale pouze provést téměř neznatelnou úpravu povrchu. Předloženým vzorem byly celistvé čtverce o různých stupních šedi, které software zpracoval jako vzor k vypálení. Pomocí zkušebních ozáření bylo nalezeno takové nastavení laseru, které v kombinaci s různými stupni šedi vedlo k nejmenšímu narušení povrchu. Ale zároveň takové, které mohl software přijmout jako viditelný vzor a laser tento signál zpracoval. V nastavení laseru byly zvoleny následující parametry:

Duty cycle [%]

- Intenzita paprsku, respektive využitá energie.
- Poměr aktivace a deaktivace laserového pulsu v čase.

Maximální hodnota = 50 %.

- Byla zvolena stálá hodnota 30 %.

Pixel time [μs]

- Doba působení energie laseru na každý jeden bod ve vzoru.
- Čím je hodnota Pixel time vyšší, tím více energie je do textilie koncentrováno.
- Byla zvolena konstantní hodnota 40 μs.

Finální nastavení uvádí tabulka 4:

Tab. 4 Nastavení laseru

Stupeň šedi	Duty cycle [%]	Pixel time [μs]
207	30	40
204	30	40
200	30	40

Nejtmavší vzor je představován šedí 200, což znamená, že laser na materiál působil nejintenzivněji. Vzorky byly vystaveny laserovému paprsku na lícové i rubové straně. Označovaná plocha byla 15 × 15 cm.

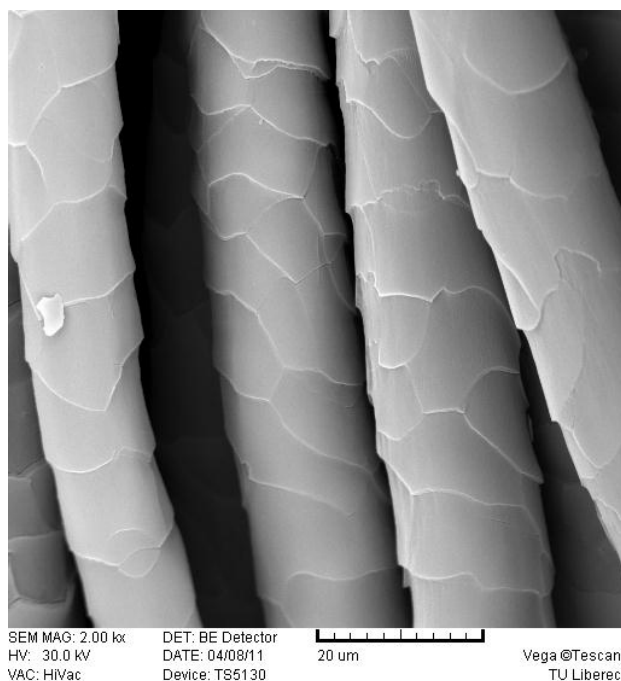
Stejně jako u vzorků chlorovaných a enzymaticky upravených byla i zde provedena zkouška plstivosti na náhodných laserovaných vzorcích. Dokázala, že laserem modifikovaný povrch tkaniny se neplstí ani nesráží.

5.5. Elektronová rastrovací mikroskopie

Vzorky upravených i neupravených tkanin byly pozorovány pod rastrovacím elektronovým mikroskopem. Na snímcích jsou patrné změny povrchové morfologie vláken. Další snímky jsou uvedeny v příloze III.

Neupravená vlna (Obr. 10)

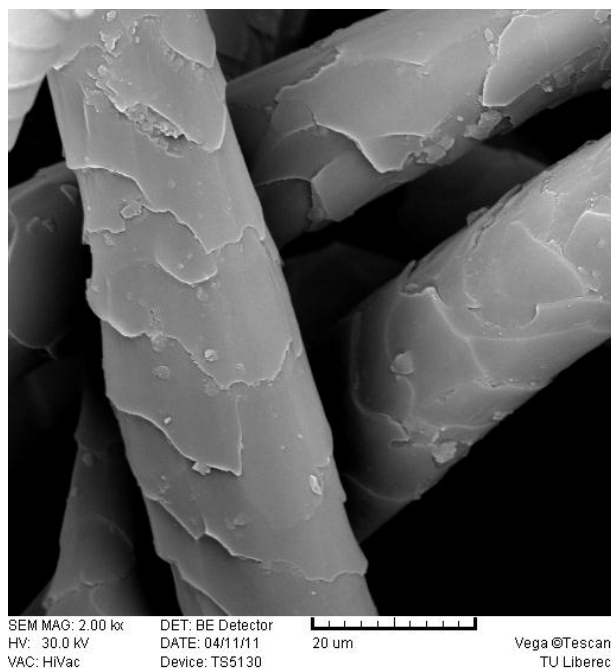
Povrch vlákna pokrývají pravidelně šupinky, které nejsou výrazněji narušeny a nemají roztřepeně odstávající okraje.



Obr. 10 Rastrovací elektronová mikroskopie – neupravená vlna, tkanina A

Chlorovaná vlna (Obr. 11)

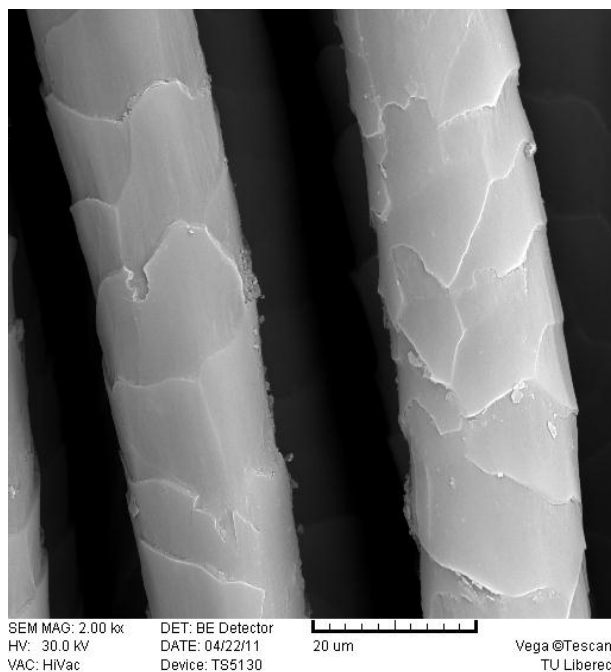
Vrchní část šupinek byla vlivem chloru odstraněna a okraje získaly pilovitý charakter. U silněji chlorované vlny je poškození výraznější.



Obr. 11 Rastrovací elektronová mikroskopie – chlorovaná vlna, koncentrace 3, tkanina A

Enzymaticky upravená vlna (Obr. 12)

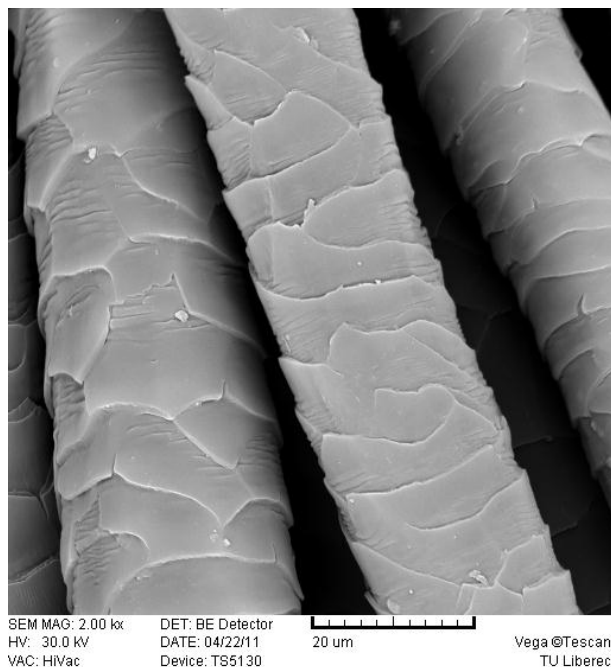
Trypsin štěpí řadu proteinů obsažených v šupinkách a způsobuje jejich degradaci. Změny povrchu nejsou natolik markantní jako u chlorované nebo laserované vlny.



Obr. 12 Rastrovací elektronová mikroskopie – enzymaticky upravená vlna, doba působení 60 minut, tkanina A

Vlna upravená laserem (Obr. 13)

Vrchní vrstva vláken, která byla nejvíc zasažena působením laseru, vykazuje významnou degradaci šupin. Jsou výrazně zkrácené a v některých případech téměř chybí. Navíc je viditelné zvrásnění povrchu vláken.



Obr. 13: Rastrovací elektronová mikroskopie – laserovaná vlna, stupeň šedi 204, tkanina A

6. Měření tepelných vlastností a způsob vyhodnocení dat

6.1. Měření na přístroji Alambeta

Měření tepelných vlastností bylo prováděno na přístroji Alambeta, který byl uložen v klimatizované místnosti. Podmínky se během měření pohybovaly při vlhkosti 39 - 41 % a teplotě 21,5 - 23,0 °C.

6.1.1. Postup

Všechny vzorky byly na přístroji Alambeta měřeny nejprve v běžném suchém stavu. Před měřením byla zjištěna jejich hmotnost. Poté byly zavlhčeny roztokem vody a smáčedla Spolion 8, poměr smáčedla byl 2 kapky na 2 litry vody. Vzorky byly ponechány v roztoku, aby došlo k proniknutí vody do celé struktury. Poté následovalo měření tepelných vlastností za různých stupňů vlhkosti. Každý vzorek byl před samotným měřením zvážen, aby bylo následně možné dopočítat procento vlhkosti obsažené ve vzorku. Po naměření tepelných vlastností při maximálním zavlhčení byla část vlhkosti odsáta pomocí savého papíru. Úbytek vlhkosti byl vždy kontrolován vážením. Tímto způsobem nebylo možné zajistit u vzorků stejné procentuální přivažky vlhkosti, proto jsou pro každý konkrétní vzorek odlišné. Každý vzorek byl tedy měřen při 4 stupních vlhkosti, v suchém stavu a ultra suchém stavu. Poslední fáze spočívala ve vysušení vzorků do tzv. suché hmotnosti, která představuje stav, kdy je v textilií zanedbatelné procento vlhkosti. Suchého stavu je dosaženo tehdy, když se dvě po sobě následující vážení neliší o více než 0,1 % hmotnosti vzorku z posledního vážení. Vysoušení probíhalo v sušícím zařízení při teplotě 90 °C, která nemá destruktivní vliv na vlněný materiál. Zdroj [1] uvádí že, trvalé působení tepla mezi 80 a 90 °C ještě vlnu neničí. Zkušebním vysoušením bylo zjištěno, že doba pro dosažení suché hmotnosti při dané teplotě jsou 2 hodiny. Po sušení byly vzorky ponechány v uzavřeném plastovém obalu, aby klesla jejich teplota. Poté byly vysušené vzorky zváženy a měřeny na Alambetě.

Pro každé měření byl stanoven procentuální podíl vlhkosti U ve vzorku pomocí vzorce:

$$U = \frac{m_v - m_s}{m_s} * 100[\%] \quad (11)$$

kde:

m_v hmotnost vzorku s vlhkostí [g]

m_s je hmotnost vzorku v ultra suchém stavu [g]

Z hodnot poskytovaných přístrojem Alambeta byly vybrány tepelný odpor R , tepelná vodivost λ a tepelná jímavost b .

Tyto vlastnosti byly měřeny u všech vzorků, při 6 stupních vlhkosti, přičemž nulová vlhkost odpovídá suché hmotnosti vzorku. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze IV.

6.2. Způsob zpracování výsledků

Každá ze tří neplstivých úprav byla na tkaniny aplikována ve třech odlišných stupních (koncentrace, doba působení nebo intenzita). Pro každý takový stupeň byl měřením získán soubor dat obsahující vždy 18 hodnot pro každou tepelnou vlastnost (R , λ a b) měřenou při různých úrovních zavlhčení materiálu.

Všemi takovými soubory 18 hodnot byla proložena vhodná regresní křivka (polynom 2. nebo 3. stupně) vyjadřující závislost daného vzorku tkaniny na jedné z tepelných vlastností při zavlhčení. Aby bylo možné vzorky porovnat, byly křivky přeneseny do souhrnných grafů pro tepelný odpor, tepelnou vodivost a tepelnou jímavost. Takto vyjádřené závislosti jsou uvedeny a okomentovány v kapitole 7.1.

Pro objektivní posouzení závislostí vykreslených v souhrnných grafech, byla zvolena shluková analýza. Posloužila k nalezení podobností mezi jednotlivými úpravami. Tato statistická metoda je popsána v následující kapitole, vyhodnocena pak v kapitole 7.2.

6.3. Shluková analýza

Shluková analýza je vícerozměrná statistická metoda, která se užívá pro vyšetřování podobností takových objektů, u kterých je změřeno větší množství znaků. Získaná data jsou dle podobností rozdělena do relativně homogenních shluků. To

znamená, že v jednom shluku jsou seskupeny podobnější objekty než ty, které jsou obsaženy v dalších skupinách.

Shluková analýza umožňuje seskupování hierarchické a nehierarchické.

Hierarchické shlukování je založeno na postupném shlukování. Může být divizní nebo aglomerativní. Divizní vychází z jednoho celku a postupně shluky dělí. Aglomerativní metoda naopak vychází z jednotlivých shluků a postupně je spojuje. V obou případech k propojování objektů dochází na základě jejich podobností a výstupem je hierarchický stromový graf nazývaný také dendrogram.

Nehierarchické shlukování vyžaduje určení „typických“ objektů. Následně se hledají podobnosti mezi ostatními objekty a tímto předem určeným objektem. [19]

U hierarchických postupů lze **podobnost** mezi objekty posuzovat pomocí různých ukazatelů. Mohou to být korelační koeficienty, míry asociace nebo nejpoužívanější míry vzdálenosti. Užívaných druhů distance je více, nejčastější je však využití euklidovské metriky, která zobecňuje běžný pojem vzdálenosti.

Na základě zjištěných podobností je prováděno **shlukování**. Seskupovací techniky je několik:

Průměrová metoda (Average) počítá vzdálenost dvou shluků jako průměr z mezishlukových vzdáleností dvou objektů.

Centroidní metoda (Centroid) hledá vzdálenost mezi těžišti shluků. Její modifikací je mediánová metoda.

Metoda nejbližšího souseda (Single) počítá minimální mezishlukovou vzdálenost objektů.

Metoda nejvzdálenějšího souseda (Complete) počítá podobnost dvou shluků jako maximální mezishlukovou vzdálenost mezi objekty.

Wardova metoda vybírá shluky tak, aby suma čtverců odchylek od střední hodnoty byla minimální. [20]

Výhodou hierarchických postupů je, že výsledky lze graficky zobrazit pomocí **dendrogramu**. U vertikálně uspořádaného diagramu je na vodorovné ose x uložena základna tvořená jednotlivými pozorovanými objekty. Na svislé ose y jsou vynášeny vzdálenosti mezi nimi. Menší shluky jsou propojovány do větších pomocí svislých spojnic, přičemž každá taková větev představuje splynutí dvou shluků v jeden. Kořenem

hierarchického stromu je horizontální spojnice, která shlukuje všechna data do jednoho celku. [19]

6.3.1. Postup shlukové analýzy

Data naměřená přístrojem Alambeta byla zpracována v programu Matlab (verze 7.9.0.529 R2009b), který obsahuje funkce pro realizaci shlukové analýzy. Použitý skript se nachází v příloze VI.

Prakticky bylo nutné provést analýzu ve třech následujících krocích:

- a) *Analýza podobností dat v souboru*
- b) *Shlukovací procedura*
- c) *Vykreslení dendrogramu*

a) *Analýza podobností dat v souboru*

Prvním krokem bylo zjištění vzdáleností mezi reálnými křivkami, které byly vykresleny pro každou upravovanou tkaninu jako závislost tepelné vlastnosti na úrovni zavlhčení (viz. Obr. 14 – 16).

Obecně platí, že vzdálenost d dvou bodů (x_1, y_1) a (x_2, y_2) ve dvojrozměrném prostoru je počítána podle Pythagorovy věty:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (12)$$

Pokud je ale sledovaná dimenze troj- či více rozměrná, výpočet vzdálenosti je obtížnější. Obecně je pro n -rozměrný Euklidovský prostor R^n vzdálenost mezi body určena vztahem

$$d = |x - y| = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2} \quad (13)$$

V případě, že není zjišťována vzdálenost jednotlivých bodů, ale reálných spojitých funkcí na omezeném intervalu, pak je uvažován tzv. L_2 prostor. „*Jeho prvky jsou reálné měřitelné funkce, integrovatelné s druhou mocninou na intervalu $\langle a, b \rangle$.*

Vzdálenost dvou prvků f, g takového prostoru je potom dána vzorcem:“ [21]

$$d(f, g) = \sqrt{\int_a^b [g(x) - f(x)]^2 dx} \quad (14)$$

Následující vzorec (15) demonstruje postup výpočtu vzdálenosti mezi 2 objekty y_1 a y_2 . Objekty jsou v tomto případě představovány jednotlivými křivkami závislosti pro různě upravené tkaniny. Tyto regresní funkce jsou ve formě polynomu 3. stupně: $y_1 = a_1 + b_1x + c_1x^2 + d_1x^3$ a $y_2 = a_2 + b_2x + c_2x^2 + d_2x^3$. Vzdálenost D mezi jejich jednotlivými koeficienty je tedy:

$$D = \sqrt{\int_A^B [(a_2 - a_1) + (b_2 - b_1)x + (c_2 - c_1)x^2 + (d_2 - d_1)x^3]^2 dx} \quad (15)$$

Meze A a B ohraničují interval pro úroveň zavlhčení materiálu. Jeho rozsah byl zvolen tak, aby v sobě obsáhnul všechna měření. Jako minimum bylo zvoleno 0% zavlhčení, jako maximum hodnota 105% zavlhčení.

Tento postup pro zjištění vzdálenosti mezi objekty byl zanesen do příkazů v programu Matlab. Výstupem analýzy podobností byla matice vzdáleností všech prvků mezi sebou. Matice je podkladem pro následující shlukování.

b) Shlukovací procedura

Pro shlukování byla zvolena metoda *single linkage*, což je nejčastěji užívaná aglomerativní metoda. Vzdálenost mezi shluky je dána nejkratšími vzdálenostmi mezi objekty, přičemž každý je z jiné skupiny:

$$d_c(r, s) = \min \{d(x_{ri}, x_{sj})\} \quad i = 1, \dots, n_r \quad j = 1, \dots, n_s \quad (16)$$

kde $d(x_{ri}, x_{sj})$ je vzdálenost mezi pozorováním i ze skupiny r a pozorováním j ze skupiny s .

Zápis funkce v programu Matlab je ve formátu $Z = \text{linkage}(Y, \text{method})$. Y představuje matici vypočtených vzdáleností, přičemž ty jsou řazeny v pořadí $(2,1), (3,1), \dots, (m,1), (3,2), \dots, (m,2), \dots, (m,m-1)$. Příkaz *method* je algoritmus pro výpočet vzdálenosti mezi shluky. Metoda *single linkage* je v programu přednastavena jako výchozí funkce, tudíž není nutné jí do příkazu vepisovat. Výstupem je matice Z o rozměrech $(m-1) \times 3$, kde m představuje počet pozorování v originálních datech. Sloupce 1 a 2 obsahují indexy shluků, ve třetím sloupci jsou vyčísleny vzdálenosti mezi nimi.

Shlukování probíhá takovým způsobem, že na počátku každý objekt představuje jeden shluk. Objekty s nejmenšími rozdíly se seskupují do společného shluku. Další výpočet podobností tyto objekty vynechá, považuje je za celek a hledá další podobné

vzdálenosti mezi objekty. Celý postup se opakuje, dokud ze všech objektů nevznikne jeden velký shluk. [22]

c) Sestavení dendrogramu

Výstup *linkage* je lépe představitelný v grafickém zobrazení. Zápis funkce pro vykreslení dendrogramu má podobu $H = \text{dendrogram}(Z)$.

Výstupem je stromový diagram, který vychází z hodnot Z vypočítaných funkcí *linkage*. Pro barevné vyznačení jednotlivých shluků byl navíc použit příkaz *colortreshold*, což dělá dendrogram přehlednějším.

7. Vyhodnocení naměřených veličin

K vyhodnocení je nutné zmínit, že sledované tkaniny A a B se vzájemně liší pouze minimálně, nejvýznamněji v gramáži. Prvotní úmysl, který vycházel ze zadání práce, tedy sledovat změnu tepelných vlastností také v závislosti na jemnosti použité vlny, zde bohužel ztratil svůj význam. Výsledky pro tkaninu A i B byly sledovány, avšak nebyly u nich nalezeny významnější rozdíly. Slouží proto spíše ke vzájemnému porovnání výsledků a kontrole toho, zda zjištěné závislosti u obou tkanin dosahují stejných trendů. V následujícím textu bude věnována pozornost výsledkům zjištěným u tkaniny B. Výstupy pro tkaninu A, stejně jako některé další grafy, jsou z důvodu velkého objemu zpracovaných dat umístěny pouze v přílohách.

7.1. Analýza závislosti tepelných vlastností na typu neplstivé úpravy a míře zavlhčení

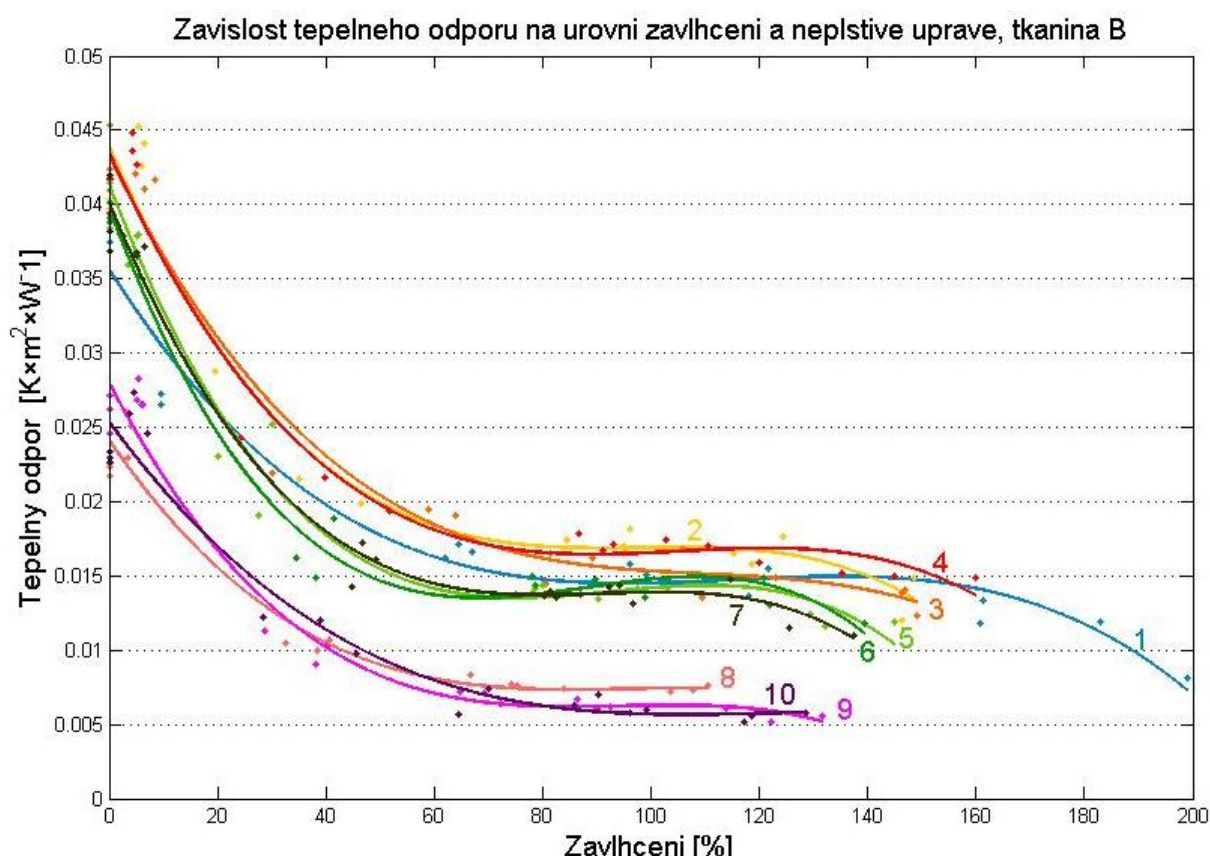
Pro následující vyhodnocení mají význam ty části grafu, které sledují zavlhčení materiálu maximálně do 100 %. Vyšší hodnoty zavlhčení jsou při běžném nošení oděvů spíše nereálné. Zde je vhodné také připomenout, že vlněné vlákno dokáže do své struktury pojmout tolik vlhkosti, kolik odpovídá asi 30 % jeho suché hmotnosti. Všechna další vlhkost je už vázána mezi vlákny, ve struktuře textilie.

7.1.1. Tepelný odpor

Tepelný odpor je veličinou závislou na porositě materiálu, a zejména pak na jeho tloušťce. Textilie s vyšší tloušťkou vykazuje vyšší tepelný odpor, a to až do hodnoty $h = 5\text{mm}$ [17]. Tento vztah vysvětluje, proč nejvyššího tepelného odporu dosáhly chlorované tkaniny, i přesto, že nejlepší výsledek byl očekáván u tkaniny neupravené. Vlivem jednotlivých úprav totiž došlo k určitým změnám struktury textilie. Po chlorování a enzymatické digesti se tloušťka materiálu zvýšila. Vlivem laserování naopak došlo ke „zbroušení“ povrchu tkaniny a potažmo snížení její tloušťky. Důkazem jsou naměřené hodnoty uvedené v příloze. Také graf na obrázku 14 tento předpoklad dokládá. Při nulovém zavlhčení byl naměřen nejnižší tepelný odpor u laserovaných tkanin, u nichž byla zároveň zjištěna také nejnižší tloušťka. Naopak chlorované vzorky, jejichž tloušťka se vlivem úpravy zvýšila nejvíce, dosáhly mezi všemi vzorky v suchém stavu nejvyššího tepelného odporu.

Z grafu lze vyvodit ještě další důležitou známou spojitost - tepelný odpor materiálu je významně snižován přítomností potu a vody v jeho struktuře. Je patrné, že u všech křivek reprezentujících jednotlivé úpravy, došlo k výraznému poklesu tepelného odporu při vzrůstajícím zavlhčení. Teprve od 60procentní vlhkosti je tepelný odpor relativně konstantní.

K lepšímu posouzení schopnosti sledovaných tkanin přenášet teplo poslouží lépe tepelná vodivost, která je tloušťkou materiálu ovlivněna pouze nepatrně.



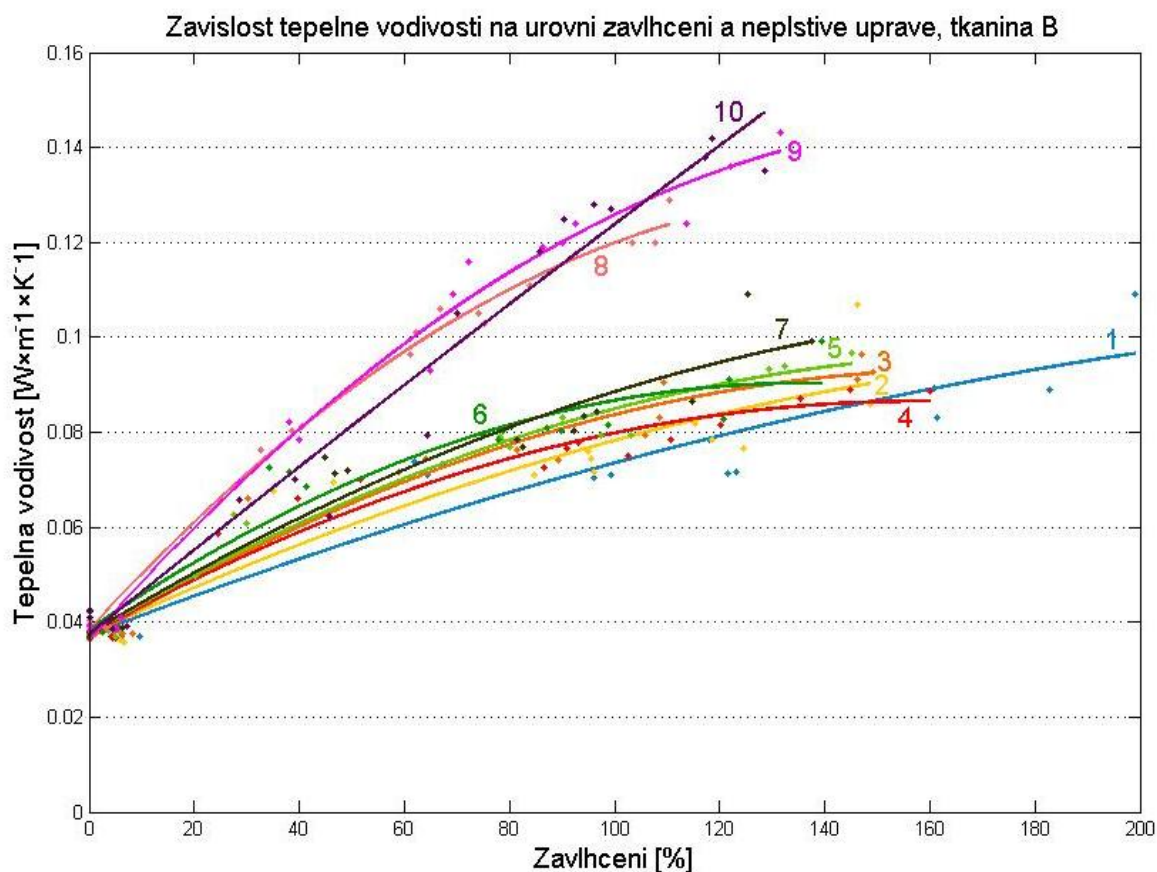
Tepelný odpor, tkanina B		
1 Nechlorovaná	$y = -2E-08x^3 + 5E-06x^2 - 0,0006x + 0,0356$	$R^2 = 0,9322$
2 Chlor, konc1	$y = -3E-08x^3 + 9E-06x^2 - 0,0008x + 0,0439$	$R^2 = 0,9515$
3 Chlor, konc2	$y = -2E-08x^3 + 7E-06x^2 - 0,0007x + 0,0433$	$R^2 = 0,9726$
4 Chlor, konc3	$y = -2E-08x^3 + 8E-06x^2 - 0,0008x + 0,0435$	$R^2 = 0,965$
5 Enzym 60	$y = -4E-08x^3 + 1E-05x^2 - 0,001x + 0,0414$	$R^2 = 0,9709$
6 Enzym 90	$y = -4E-08x^3 + 1E-05x^2 - 0,001x + 0,0398$	$R^2 = 0,9884$
7 Enzym 120	$y = -4E-08x^3 + 1E-05x^2 - 0,0009x + 0,0401$	$R^2 = 0,9843$
8 Laser 207	$y = -2E-08x^3 + 6E-06x^2 - 0,0005x + 0,0241$	$R^2 = 0,9608$
9 Laser 204	$y = -3E-08x^3 + 8E-06x^2 - 0,0007x + 0,028$	$R^2 = 0,9673$
10 Laser 200	$y = -1E-08x^3 + 4E-06x^2 - 0,0005x + 0,0254$	$R^2 = 0,9545$

Obr. 14 Graf závislostí tepelného odporu na úrovni zavlhčení a neplstivých úpravách, tkanina B

7.1.2. Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je ukazatel minimálně závislý na tloušťce materiálu, ke kterému se váže. Z následujícího grafu (Obr. 15) lze proto vyvodit, jak různě upravené textile vedou teplo, bez ohledu na to, jak se neplstivou úpravou změnila jejich tloušťka. Všechny vzorky za sucha vykazovaly velmi podobnou tepelnou vodivost, a to okolo $0,04 \text{ W} \times \text{m}^{-1} \times \text{K}^{-1}$. Teprve s nárůstem přidané vlhkosti se tepelná vodivost změnila.

Platí, že tepelná vodivost působením vlhkosti stoupá, což z hlediska komfortu není žádoucí. Tělo kryté vlhkým oděvem je totiž rychleji ochlazováno. Proto je nejvhodnější materiál ten, který i při zavlhčení dosahuje nízkých hodnot tepelné vodivosti. Zde jde o tkaninu neupravenou. Lehce horších výsledků bylo dosaženo u vzorků mírně chlorovaných. Celkově lze konstatovat, že velmi podobné tepelné vodivosti při zavlhčení dosáhly všechny vzorky upravené chlorováním či enzymaticky. Z hlediska tepelného komfortu se jako nejméně vhodné jeví tkaniny upravené laserem. Jejich tepelná vodivost je při konkrétním zavlhčení až o 50 % vyšší v porovnání se vzorky neupravenými.



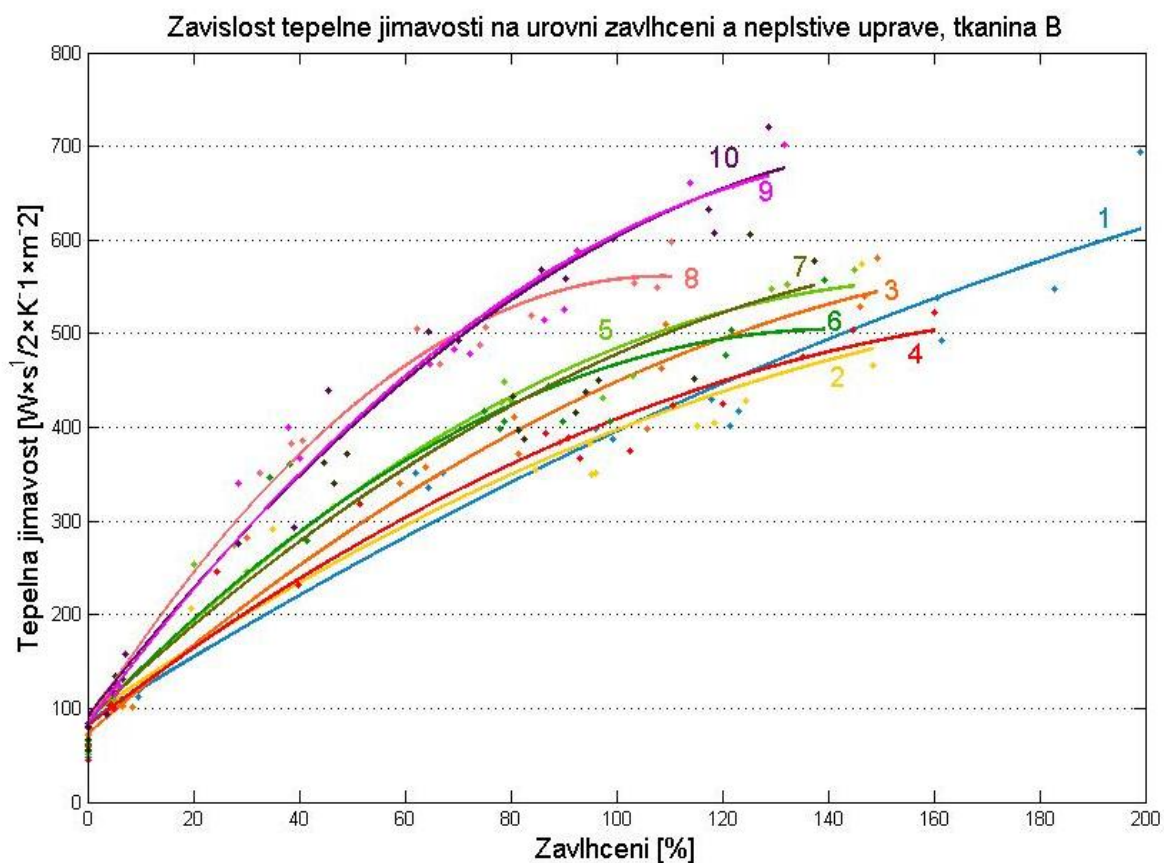
Tepelná vodivost, tkanina B		
1 Nechlorovaná	$y = -7E-07x^2 + 0,0004x + 0,0372$	$R^2 = 0,9125$
2 Chlor, konc1	$y = -1E-06x^2 + 0,0005x + 0,0374$	$R^2 = 0,9006$
3 Chlor, konc2	$y = -2E-06x^2 + 0,0007x + 0,0365$	$R^2 = 0,965$
4 Chlor, konc3	$y = -2E-06x^2 + 0,0006x + 0,0373$	$R^2 = 0,9652$
5 Enzym 60	$y = -2E-06x^2 + 0,0007x + 0,0374$	$R^2 = 0,9766$
6 Enzym 90	$y = -3E-06x^2 + 0,0008x + 0,0384$	$R^2 = 0,9485$
7 Enzym 120	$y = -2E-06x^2 + 0,0007x + 0,0375$	$R^2 = 0,9489$
8 Laser 207	$y = -4E-06x^2 + 0,0012x + 0,0382$	$R^2 = 0,9917$
9 Laser 204	$y = -4E-06x^2 + 0,0013x + 0,036$	$R^2 = 0,9871$
10 Laser 200	$y = -3E-07x^2 + 0,0009x + 0,0375$	$R^2 = 0,9667$

Obr. 15 Graf závislosti tepelné vodivosti na úrovni zavlhčení a neplstivých úpravách, tkanina B

7.1.3. Tepelná jímavost

Tepelná jímavost vyjadřující omak textile je důležitým parametrem pro posouzení tepelně-kontaktního komfortu textilií ve vlhkém stavu. Voda obsažená v textilií má výrazně vyšší tepelnou vodivost i tepelnou kapacitu než vlákna i vzduch vyskytující se mezi nimi. Z toho vyplývá, že vlhká tkanina přenáší teplo mnohem lépe než tkanina suchá a její tepelný omak je proto chladivý. [17]

Obecně je jímavost do hodnoty 400 vnímána jako vyhovující, hodnoty vyšší se už váží k omaku chladivému a vlhkému. Předností vlněných textilií je, že dokážou bránit nositele před chladem i za mírného deště. Omak takové textilie je nositelem dlouho vnímán jako suchý a do hodnoty tepelné jímavosti 300 dokonce i jako teplý. Z grafu (Obr. 16) je patrné, že neupravená vlna si drží teplý a suchý omak ještě při 65procentním přívažku vlhkosti, který se při běžném nošení oděvů stále ještě dá považovat za reálný. Stejných hodnot tepelné jímavosti blízké $b = 300$ dosahují chlorované tkaniny asi při 50% zavlhčení, enzymaticky upravené průměrně při 40% a laserované tkaniny pak pouze jen při přívažku vlhkosti okolo 30 %.



Tepelná jímavost, tkanina B		
1 Nechlorovaná	$y = -0,0047x^2 + 3,5734x + 85,217$	$R^2 = 0,9621$
2 Chlor, konc1	$y = -0,0086x^2 + 3,9304x + 90,532$	$R^2 = 0,9373$
3 Chlor, konc2	$y = -0,0122x^2 + 4,9809x + 72,392$	$R^2 = 0,9734$
4 Chlor, konc3	$y = -0,0106x^2 + 4,3368x + 81,606$	$R^2 = 0,9755$
5 Enzym 60	$y = -0,0174x^2 + 5,7338x + 85,379$	$R^2 = 0,979$
6 Enzym 90	$y = -0,0206x^2 + 5,8778x + 85,64$	$R^2 = 0,95$
7 Enzym 120	$y = -0,0141x^2 + 5,3195x + 87,71$	$R^2 = 0,9503$
8 Laser 207	$y = -0,0403x^2 + 8,7595x + 84,835$	$R^2 = 0,9917$
9 Laser 204	$y = -0,0215x^2 + 7,2786x + 90,62$	$R^2 = 0,9829$
10 Laser 200	$y = -0,0239x^2 + 7,6238x + 82,98$	$R^2 = 0,9858$

Obr. 16 Graf závislosti tepelné jímavosti na úrovni zavlhčení a neplstivých úpravách, tkanina B

7.2. Vyhodnocení shlukové analýzy

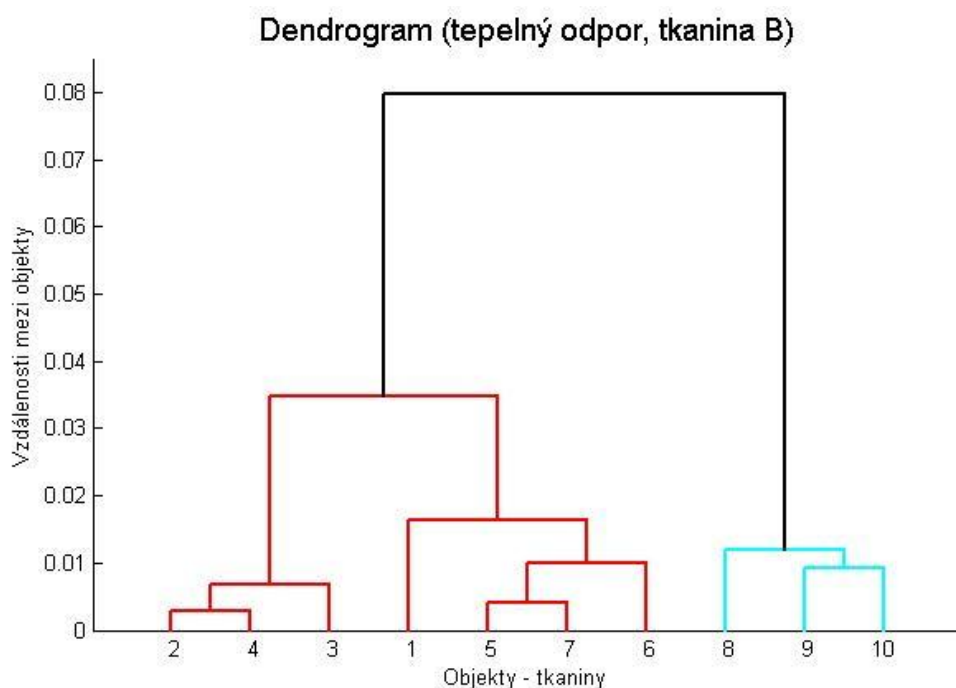
Následující hierarchické stromy zobrazují objektivní pohled na závislosti tepelných vlastností na úrovni zavlhčení a jednotlivých neplstivých úpravách. Na ose y jsou vyneseny vypočtené vzdálenosti, na ose x objekty, tedy křivky pro jednotlivé tkaniny. Pro větší přehlednost je zde uveden jejich popis:

- Objekt 1 Neupravená tkanina
- Objekt 2 Chlorovaná tkanina, koncentrace 1 (1 g/l a doba působení 30 minut)
- Objekt 3 Chlorovaná tkanina, koncentrace 2 (0,5 g/l a doba působení 60 minut)
- Objekt 4 Chlorovaná tkanina, koncentrace 3 (1 g/l a doba působení 60 minut)
- Objekt 5 Enzymaticky upravená tkanina, doba působení 60 minut
- Objekt 6 Enzymaticky upravená tkanina, doba působení 90 minut
- Objekt 7 Enzymaticky upravená tkanina, doba působení 120 minut
- Objekt 8 Tkanina upravená laserem, stupeň šedi 207
- Objekt 9 Tkanina upravená laserem, stupeň šedi 204
- Objekt 10 Tkanina upravená laserem, stupeň šedi 200

Objekty jsou horizontální linií spojovány do shluků, které jsou barevně odlišeny. Výsledky z dendrogramů správně kopírují výsledky z grafů závislostí a potvrzují již výše zmíněné domněnky.

7.2.1. Tepelný odpor

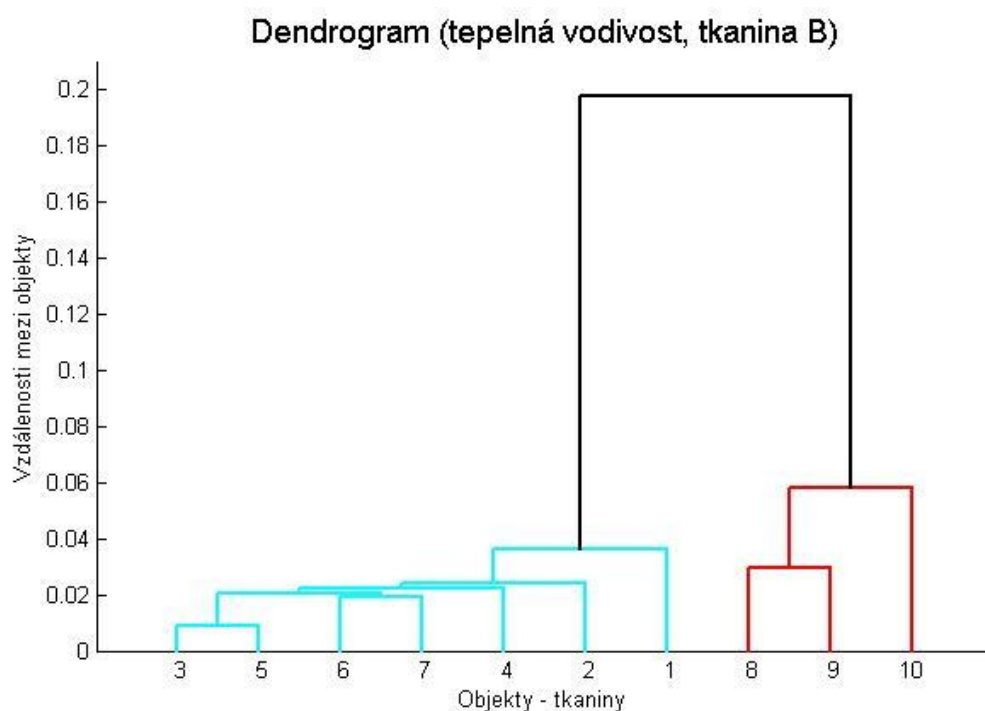
Z dendrogramu (Obr. 17) je patrné, že největší podobnosti bylo dosaženo u shluku objektů **2, 3 a 4**. Jde o chlorované vzorky, jejichž odpor je v závislosti na zavlhčení nejvyšší. Druhým shlukem tvoří tkaniny enzymaticky upravené **5, 6, 7**. K nim se řadí ještě tkanina neupravená **1**. Tyto 4 tkaniny mají tedy podobný tepelný odpor. Modrý shluk seskupuje tkaniny upravené laserem. Vzdálenost mezi modrým a červeným shlukem je dosti veliká, což naznačuje jejich výraznou odlišnost. Laserované tkaniny mají velmi odlišný tepelný odpor ve srovnání s ostatními tkaninami.



Obr. 17 Dendrogram pro křivky závislosti tepelného odporu na úrovni zavlhčení a neplstivých úpravách, tkanina B

7.2.2. Tepelná vodivost

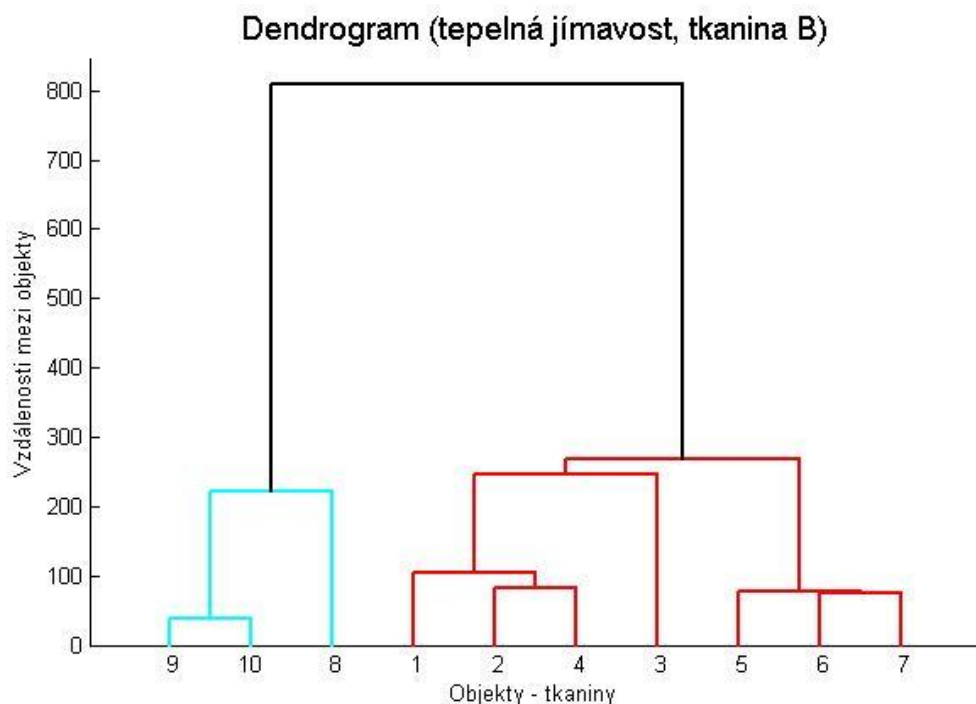
Do modré odnože patří tkaniny, jejichž tepelná vodivost v závislosti na zavlhčení je lepší než tepelná vodivost tkanin upravených laserem (objekty **8, 9, 10**). Rozdíly mezi objekty modrého shluku jsou minimální. Nejpodobnější jsou si tkaniny **3, 5 a 6, 7**, tedy všechny tři tkaniny podrobené enzymatické digesti a tkanina chlorovaná o koncentraci 2 (0,5 g/l aktivního chloru, doba působení 60 minut). Jejich závislost tepelné vodivosti na zavlhčení je velmi podobná. Neupravená tkanina **1** je vzdálená od všech ostatních objektů modrého shluku. Vzhledem k tomu, že u ní byla naměřena nejnižší tepelná vodivost za vlhka, jde u pohledu tepelného komfortu o materiál, který nabízí nositeli nejvyšší pohodlí.



Obr. 18: Dendrogram pro křivky závislosti tepelné vodivosti na úrovni zavlhčení a neplstivých úpravách, tkanina B

7.2.3. Tepelná jímavost

Tentokrát program vygeneroval jako modrý shluk ten, který obsahuje tkaniny upravené laserem. I při tomto uspořádání jsou však rozdíly mezi jednotlivými větvemi dendrogramu dobře patrné. Objekty pod čísly **8 – 10** utváří shluk tkanin, jejichž tepelná jímavost při zavlhčení je nejméně vyhovující. V červeném shluku jsou tkaniny, u kterých je tepelná jímavost v závislosti na zavlhčení dobrá. Potažmo jejich tepelný omak se jeví jako suchý do vyššího stupně zavlhčení. Nejsemknutější skupinu, a tudíž skupinu s velmi podobným tepelným komfortem, tvoří tři enzymaticky upravené vzorky **5, 6, 7**. Druhou červenou podskupinou jsou objekty pod čísly **1, 2, 4**, což znamená, že tepelná jímavost zavlhčené neupravené tkaniny je dosti podobná s jímavostí chlorovaných vzorků.



Obr. 19 Dendrogram pro křivky závislosti tepelné jímavosti na úrovni zavlhčení a neplstivých úpravách, tkanina B

7.3. Celkové vyhodnocení

Získané naměřené výsledky přenesené pro lepší přehlednost do grafů a diagramů potvrzují předpoklad, že aplikováním neplstivé úpravy na vlněnou tkaninu dochází při zavlhčení ke zhoršení jejího celkového tepelného komfortu. Pro konečného spotřebitele to znamená, že vlněný oděv, který prošel některou z neplstivých úprav, bude za vlhka méně tepelně izolovat než oděv vyrobený z vlny neupravené. Jeho omak pak dosáhne nekomfortní hranice už při nižším stupni zavlhčení než by tomu bylo u nativní vlny.

Tepelný odpor

Byl potvrzen předpoklad, že s narůstající úrovní zavlhčení materiálu dochází k poklesu jeho tepelného odporu. A to především při prvních 40 % přidané vlhkosti. Je to dáno tím, že modifikovaná kutikula přijímá, stejně jako jádro, do své struktury vodu. Vlněné vlákno potom obsahuje velký podíl vody, která snižuje jeho celkový tepelný odpor. Díky nárůstu tloušťky vzorků vlivem úprav nejlepšího tepelného odporu dosáhly vzorky upravené chlorem. Laserované tkaniny dosáhly při zavlhčení nejnižšího odporu, čemuž také dopomohl fakt, že u nich byl zaznamenán pokles v tloušťce. Neupravená tkanina podobností inklinuje spíše ke tkaninám upravených enzymem než chlorem.

Tepelná vodivost

Teprve u závislosti tepelné vodivosti na stupni zavlhčení bylo možné posoudit schopnost různě upravených tkanin transportovat teplo bez ohledu na jejich tloušťku. Nativní vlněné vzorky s neoslabenými šupinkami jsou při zavlhčení vodivé nejméně, což znamená, že jejich izolační schopnost je nejlepší. O něco horší tepelnou izolaci pak nejspíš dokážou poskytnout chlorované tkaniny. Dá se předpokládat, že zvolené koncentrace a doby působení nebyly natolik intenzivní, aby byly šupinky narušeny ve velké míře. Proto je pravděpodobně podobnost mezi chlorovanými a nativními vzorky tak silná. To enzymatická úprava zapříčinila u šupinek ještě vyšší tepelnou vodivost. Nejhorším izolantem jsou vzorky laserované, které přišly o velkou část šupinek, které byly zbroušeny dosti drasticky. Vlákno tím přišlo o významnou část mezer, ve kterých by mohl být zadržen vzduch a tkanina pozbývá významně schopnost izolovat.

Tepelná jímavost

Vlhkost je velkým nepřítelem komfortu, protože významně zvyšuje tepelnou vodivost textilií. Ty pak rychleji odvádí tělesné teplo a zároveň k tělu přivádí chlad z okolí, což má negativní dopad na kvalitu tepelné izolace. Zároveň se při rychlejším prostupu tepla textilií zvyšuje hodnota tepelné jímavosti a vlhká textilie je na omak chladivá. Tato fakta byla experimentem plně potvrzena. Nejlepší hodnoty jímavosti byly naměřeny u vlny neupravené, avšak velmi podobného omaku při zavlhčení dosáhly také vzorky chlorované. Obecně je chlorování uváděno jako metoda, která výrazně narušuje povrch vlákna a tím negativně ovlivňuje jeho vlastnosti. V této práci však bylo provedeno chlorování dosti šetrně. V praxi se užívá koncentrace až 4 g/l aktivního chloru, kdežto zde byla zvolena koncentrace nižší, přesto zajišťující jistý neplstivý efekt. Z toho vyplývá, že tkanina jemně chlorovaná se může svými tepelnými vlastnostmi velmi blížit tkanině neupravené. Jen o něco horších hodnot tepelné jímavosti dosáhly vzorky upravené enzymaticky. A nakonec laserované tkaniny mohou poskytnout komfortní omak pouze při mírném zavlhčení materiálu.

Porovnání tkanin A a B

Obě použité vlněné tkaniny byly vyrobeny z ovčí vlny o srovnatelné kvalitě. I jejich struktura byla téměř shodná, lišily se pouze v gramáži. Proto i u tkaniny B byla naměřena neznatelně vyšší tloušťka. Tyto skutečnosti však na porovnání výsledků mají minimální vliv. Hlavní je zjištění, že trendy v závislostech tepelných vlastností na úrovni zavlhčení a typu neplstivé úpravy byly totožné pro tkaninu A i B.

Z grafů vynesných pro obě tkaniny lze dále ještě vyčíst, že má větší význam sledovat jednotlivé úpravy jako celky a nezaměřovat se na jejich jednotlivé stupně (koncentrace, doba působení nebo intenzita). Je možné tedy usuzovat, že rozdíly mezi třemi různými stupni pro každou neplstivou úpravu byly tak malé, že nevyvolali významně odlišné změny tepelných vlastností při zavlhčení.

ZÁVĚR

Cílem předložené práce bylo zjistit, zda běžně prováděné neplstivé úpravy vlněných textilií, které jsou založené na částečné destrukci vlněného vlasu, mohou ovlivnit tepelně-izolační vlastnosti těchto textilií za vlhka. Z pohledu oděvního komfortu je totiž pro uživatele velmi důležité poskytnutí pocitu sucha a tepla. Proto je přítomnost vody nebo potu v oděvní soustavě tak nežádoucí. Nativní ovčí vlna má však díky unikátní struktuře vlákna tu schopnost, že je výborným tepelným izolantem i při zavlhčení. Pokud však dojde k narušení šupinek na povrchu vlasu, začnou vlákna okolní vlhkost přijímat vydatněji. V textilií je pak vzduch nahrazen vodou, která je výrazně tepelně vodivější, což vede ke zhoršení tepelné izolace textilie.

Výzkum spočíval v provedení tří neplstivých úprav. Konkrétně šlo o chlorování v kyselém prostředí, enzymatickou úpravu za použití živočišného enzymu a modifikaci povrchu tkaniny plynovým laserem. Změny ve struktuře povrchu vláken vlivem úprav byly prokázány pozorováním pod elektronovým rastrovacím mikroskopem. Následně byly při různých stupních zavlhčení měřeny tepelný odpor, tepelná vodivost a jímavost. Zavlhčení simulovalo podmínky, ke kterým reálně při nošení oděvů dochází, tedy deštivé počasí nebo pocení. Zjištěné hodnoty tepelných ukazatelů byly porovnávány pro upravené a neupravené tkaniny.

Výsledky potvrdily, že vlivem neplstivých úprav vlněných tkanin se mění struktura šupin na povrchu vláken. Při zavlhčení se takové tkaniny proto stávají tepelně vodivějšími, snižuje se jejich tepelný odpor a zhoršuje tepelný omak. Je to dáno tím, že povrch vlákna ztrácí svůj hydrofilní charakter a voda se rozprostírá v celé jeho ploše. Tepelně-izolační schopnosti tkaniny se tím výrazně snižují. Lze tedy konstatovat, že neplstivé úpravy zhoršují celkový tepelný komfort vlněných tkanin.

Pokud posoudíme jednotlivé neplstivé úpravy mezi sebou, dojdeme k následujícím závěrům.

Vzorky upravené chlorováním dosáhly velmi podobných výsledků jako vzorky neupravené, což se může zdát překvapivé. Chlorování je totiž považováno za úpravu dosti necitlivou, silně degradující vlákno. Je třeba si ale uvědomit, že u provedených experimentů byly zvoleny dosti nízké koncentrace aktivního chloru. V praxi bývají aplikovány často koncentrace vyšší. Proto by případný další výzkum v této oblasti měl nezbytně posoudit, zda i mírné chlorování má dostatečný neplstivý efekt. Pokud ano,

bylo by dosaženo kompromisu mezi snadnou uživatelskou údržbou a zachováním vhodných tepelných vlastností vlny.

Enzymatická úprava a laserování reprezentují ekologické neplstivé technologie. Vlna vystavená enzymatické digesci sice vykazuje o něco horší tepelné vlastnosti než vzorky chlorované či neupravené, avšak degraduje šupinky přirozenou a čistou cestou.

Úprava laserem se pro neplstivou úpravu vlny projevila jako dosti drastická metoda, což dokázaly jak výsledky měření, tak i fotografie z rastrovací mikroskopie. Avšak problematika tepelných úprav povrchu laserem je natolik složitá, že nejde paušalizovat nevhodnost laserové úpravy jako neplstivé technologie. Další podrobnější výzkum v oblasti laserové úpravy vlněných tkanin může pravděpodobně objevit ideální rovnováhu mezi dostatečným narušením šupin a požadovaným tepelným komfortem.

V závěru je třeba podotknout, že v současné textilní praxi se užívá celá řada neplstivých technologií. Velmi oblíbená je například úprava Hercosett, která nabízí zákazníkům velmi snadnou údržbu vlny. Spočívá v předchlorování vláken a následném nanesení speciálního povlaku po celé jejich ploše. Bylo by velmi zajímavé zjistit, nakolik tato úprava mění tepelný komfort vlněné textilie.

Souhrnně lze tedy konstatovat, že uživatel vlněného oděvu vyrobeného z textilie, která byla ošetřena nějakou neplstivou úpravou, musí počítat s tím, že se mu plně nedostává všech unikátních vlastností tohoto materiálu. Vlna ztrácí část svých tepelných vlastností na úkor pohodlnější údržby a lepšího zpracování ve výrobním procesu.

Seznam použité literatury

- [1] HLADÍK, Vladimír. *Textilní vlákna*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1970. 299 s.
- [2] Australian Wool Innovation Limited. [online]. Dostupné z WWW:
< <http://www.wool.com/default.htm> >
- [3] WANG, Jiajun; KAYNAK, Akif; WANG, Lijing; LIU, Xin.
Thermal conductivity studies on wool fabrics with conductive coatings. [online].
Journal of the textile institute. 2006. vol. 97, no. 3, pp. 265-269. ISSN 0040-5000.
[cit. 2011-01-14]. Dostupné z WWW:
<<http://www.deakin.edu.au/dro/view/DU:30008952> >
- [4] HORSKÁ, Irena. *Enzymatické biotechnologie pro úpravu vláken ovčí vlny. Struktura vlákna a nové histochemické poznatky*, 2006. Disertační práce (Ph.D.).
Liberec: Technická univerzita v Liberci. Katedra textilní chemie.
- [5] KRŇANSKÝ, Jan. *Tepelná izolace ovčí vlny* [online]. c2010. [cit. 2011-01-15].
Dostupné z WWW: < <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/materialy-a-vyroby/tepelne-izolace/tepelna-izolace-z-ovci-vlny-1694.htm> >
- [6] MACHAŇOVÁ, Dagmar. *Předúprava textilií. II*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita, 2007. 161 s. ISBN 978-80-7372-277-7
- [7] MACHAŇOVÁ, Dagmar. *Předúprava textilií, návody na cvičení*, 2. upr. vydání, Liberec: Technická univerzita, 2007. 57 s. ISBN 978-80-7372-240-1.
- [8] Živočišná vlákna, vlna a přírodní hedvábí. [online]. [cit. 2010-11-17].
Dostupné z WWW: <http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/files/20061005/7-zivocisna_vlakna.pdf >
- [9] ČAPEK, Jindřich. *Textilní vlákna : Příručka pro odborné kursy v textilním průmyslu a pro odborné textilní školy*. 1. vyd. Praha : Práce, 1951. 139 s.
- [10] BLAŽEJ, Anton, aj. *Špeciálne chemické úpravy textilií*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1986. 268 s.
- [11] PASTRNEK, Rudolf; VLACH, Petr. *Finální úpravy textilií* [online].
Liberec 2002. Fakulta textilní. [cit. 2011-02-01]. Dostupné z WWW:
< https://skripta.ft.tul.cz/databaze/list_aut.cgi?aut=15&skr=9&pro= >
- [12] VODRÁŽKA, Zdeněk. *Biochemie*. 2. opr. vyd. Praha: Academia, 1996. 191 s. ISBN 80-200-0600-1.

- [13] KUSALA, Jaroslav. *Lasery kolem nás*. [online]. c2004. [cit. 2011-01-14].
Dostupné z WWW: < <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/laser/laser.htm> >
- [14] GUO-XIANG, YUAN; SHOU-XIANG, JIANG; EDWARD, NEWTON; JIN-TU, FAN; WAI-MAN, AU. Application of laser treatment for fashion design. [online]. *Journal of the Textile Institute*. March 2011. [cit. 2011-01-14].
Dostupné z WWW:
<<http://www.informaworld.com/smpp/quicksearch~db=all?quickterm=Application+of+laser+treatment+for+fashion+design&searchtype=>>>
- [15] ŠTĚPÁNKOVÁ, Marie; WIENER, Jakub; DEMBICKÝ, Josef. Impact of Laser Thermal Stress on Cotton Fabric. [online]. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 2010. Vol. 18, No. 3 (80). s. 70-73. [cit. 2010-12-10]. Dostupné z WWW:
< <http://www.fibtex.lodz.pl/article358.html> >
- [16] KUNEŠ, Josef; VESELÝ, Zdeněk; HONNER Milan. *Tepelné bariéry*. Vyd. 1. Praha : Academia, 2003. 299 s. ISBN : 80-200-1218-4.
- [17] HES, Luboš; SLUKA Petr. *Úvod do komfortu textilií* Vyd. 1. Liberec : Technická univerzita, 2005. 109 s. ISBN : 80-7083-926-0.
- [18] *High Performance Wool Fabrics* [online]. c2005. [cit. 2011-01-14].
Dostupné z WWW: < <http://www.i-merino.com/> >
- [19] KOVÁŘÍK Martin; KLÍMEK Petr. Shluková analýza v Matlabu. [online] *Informační bulletin České statistické společnosti*. Březen 2011. Roč. 22, č. 1, s. 20-27. ISSN 1210-8022. [cit. 2011-01-10]. Dostupné z WWW:
< <http://www.statspol.cz/bulletiny/ib-2011-1-web.pdf> >
- [20] MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. *Kompendium statistického zpracování dat : Metody a řešené úlohy*. Vydání 2. Praha : Academia, 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.
- [21] REKTORYS, Karel. *Přehled užití matematiky. I.* 7. vyd. Praha: Prometheus, 2000. xxxii, 720 s. ISBN 80-7196-180-9
- [22] Aplikace *Help* v programu Matlab, verze R2009b.

Seznam příloh

- Příloha I: Vzorky tkanin
- Příloha II: Změny rozměrů a hmotností vzorků po úpravách
- Příloha III: Snímky vlněných vláken – rastrovací elektronová mikroskopie
- Příloha IV: Tabulky všech hodnot naměřených na přístroji Alambeta
- Příloha V: Grafy regresních závislostí, dendrogramy
- Příloha VI: Skript z programu Matlab

Příloha I: **Vzorky tkanin**

Tkanina A

Tkanina B

Příloha II: **Změny rozměrů a hmotností vzorků po úpravách***Rozměrové změny po zkoušce plstivosti (chlorování)*

Vzorky	Rozměry před zkouškou	Rozměry po zkoušce	Rozdíl [%]	Průměrný rozdíl [%]
A neupravený	10 cm × 10 cm	9,4 cm × 9,1 cm	6 a 9	7,5
A lázeň 1	9,7 cm × 9,2 cm	9,6 cm × 9,0 cm	1 a 2	1,5
A lázeň 2	9,8 cm × 9,6 cm	9,6 cm × 9,2 cm	2 a 4	3,0
A lázeň 3	9,8 cm × 9,2 cm	9,5 cm × 9,1 cm	3 a 1	2,0
B neupravený	10 cm × 10 cm	9,1 cm × 9,4 cm	9 a 6	7,5
B lázeň 1	9,8 cm × 9,7 cm	9,7 cm × 9,6 cm	1 a 1	1,0
B lázeň 2	9,9 cm × 9,3 cm	9,5 cm × 9,2 cm	4 a 1	2,5
B lázeň 3	9,6 cm × 9,6 cm	9,5 cm × 9,4 cm	1 a 2	1,5

Změna hmotnosti vzorků po enzymatické digesti

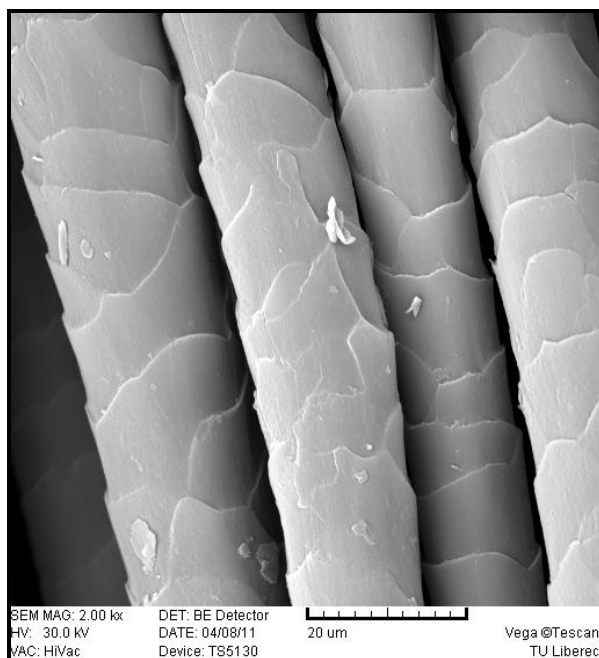
Vzorek	Suchá hmotnost před enzym.úpr. [g]	Suchá hmotnost po enzym.úpr. [g]	Hmotnostní úbytek [%]
A 60-1	5,4263	5,2103	3,98
A 60-2	5,3865	5,1794	3,84
A 60-3	5,3708	5,1519	4,08
A 90-1	5,1426	4,9356	4,03
A 90-2	5,2946	5,0827	4,00
A 90-3	5,2954	5,0766	4,13
A 120-1	5,2286	5,0013	4,35
A 120-2	5,1694	4,9520	4,21
A 120-3	5,3861	5,1599	4,20

Vzorek	Suchá hmotnost před enzym.úpr. [g]	Suchá hmotnost po enzym.úpr. [g]	Hmotnostní úbytek [%]
B60-1	5,4388	5,2341	3,76
B 60-2	5,4503	5,2400	3,86
B 60-3	5,2355	5,0232	4,06
B 90-1	5,4503	5,2262	4,11
B 90-2	5,2298	5,0217	3,98
B 90-3	5,5132	5,2797	4,24
B 120-1	5,5624	5,3310	4,16
B 120-2	5,4481	5,2035	4,49
B 120-3	5,5361	5,3028	4,21

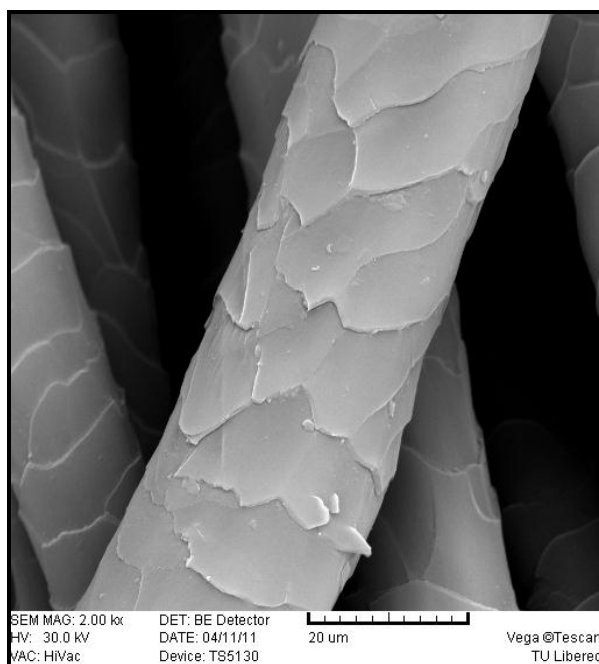
Příloha III: **Snímky vlněných vláken**

Rastrovací elektronová mikroskopie

**Chlorovaná vlna, koncentrace 1
(1 g/l a 30 min), tkanina A**

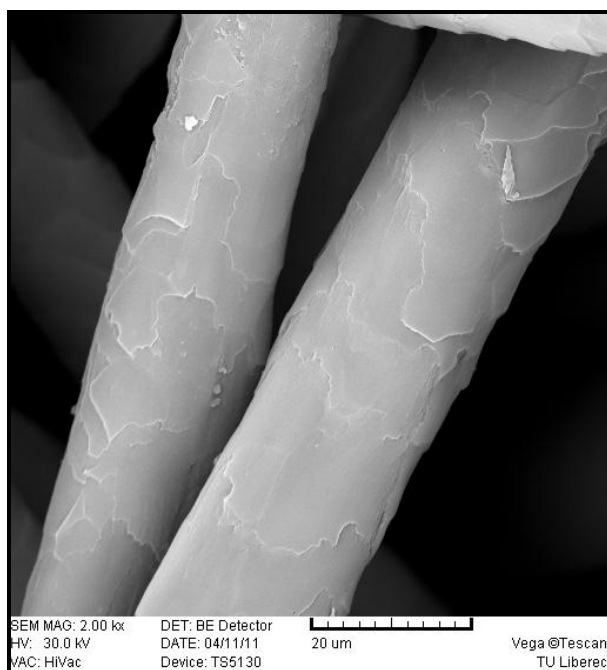


**Chlorovaná vlna, koncentrace 2
(0,5 g/l a 60 min), tkanina A**

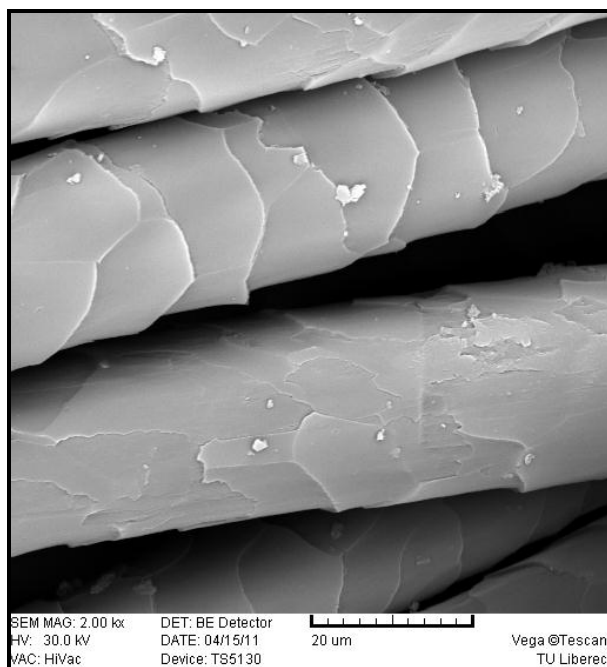


Příloha III:

**Enzymaticky upravená vlna,
působení 90 minut, tkanina A**

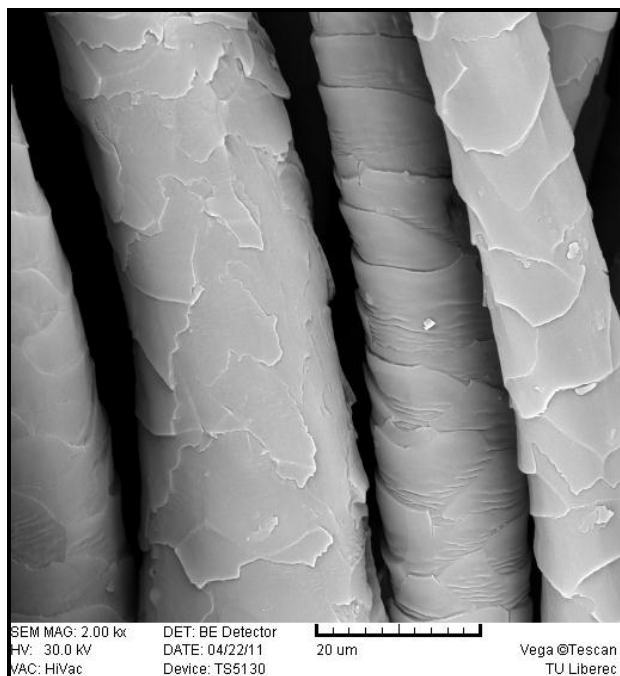


**Enzymaticky upravená vlna,
působení 120 minut, tkanina A**

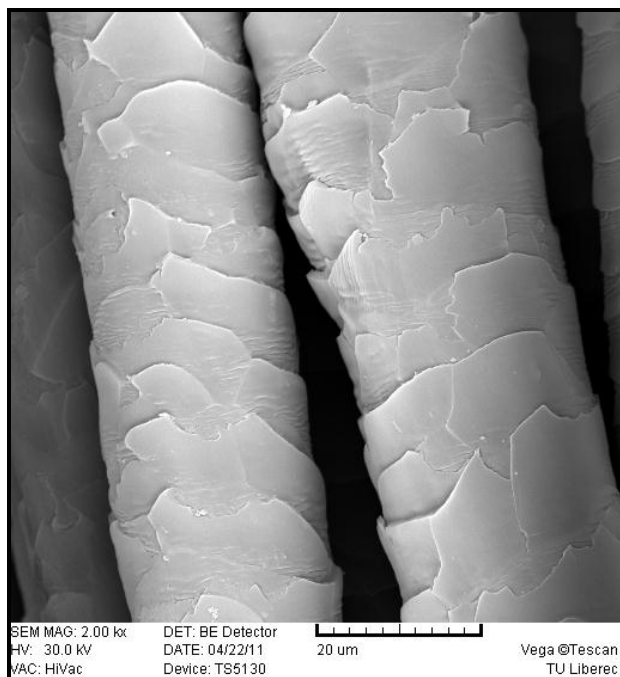


Příloha III:

**Laserovaná vlna, stupeň šedi 207,
tkanina A**

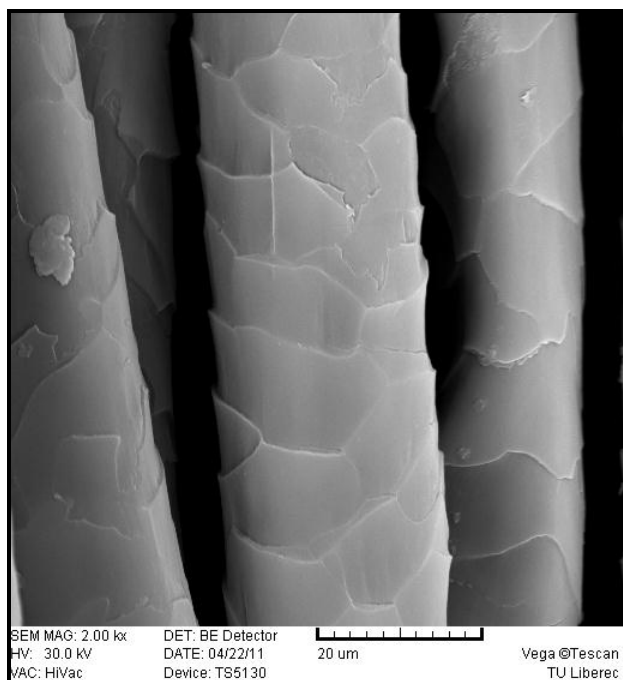


**Laserovaná vlna, stupeň šedi 200,
tkanina A**

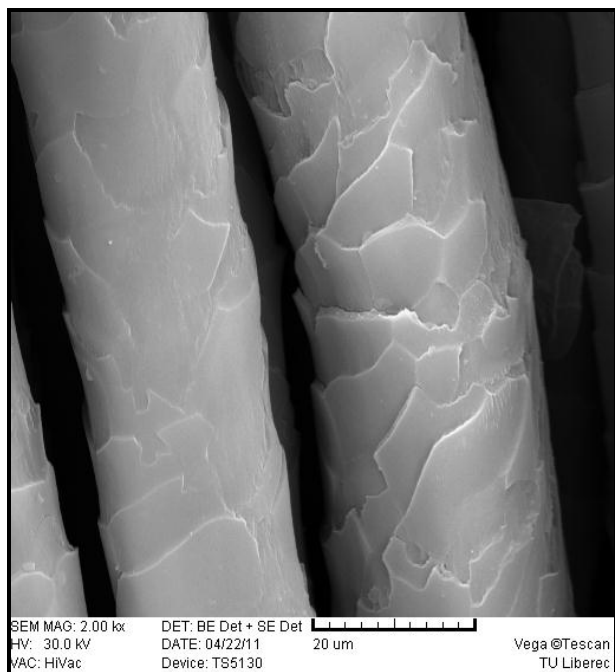


Příloha III:

Neupravená vlna, tkanina B

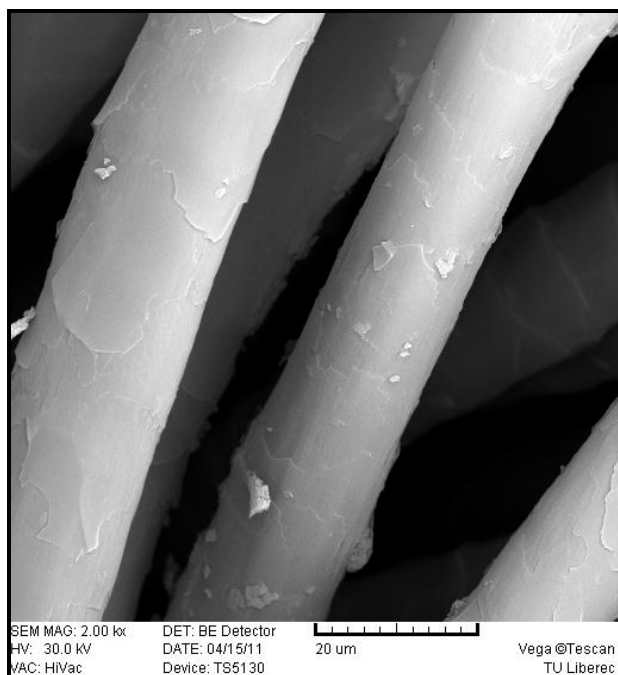


**Chlorovaná vlna, koncentrace 3,
(1 g/l a 60 min) tkanina B**

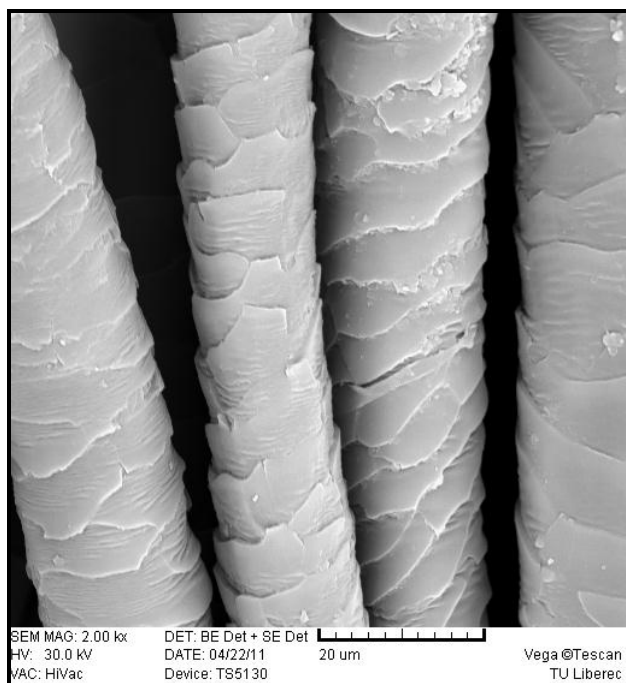


Příloha III:

**Enzymaticky upravená vlna,
působení 120 minut, tkanina B**



**Laserovaná vlna, stupeň šedi 204,
tkanina B**



Příloha IV: **Tabulky všech hodnot naměřených na přístroji Alambeta****Značení v tabulkách je následující:**

V – vzorek U – zavlhčení [%] h – tloušťka [mm] R – tepelný odpor [$K \times m^2 \times W^{-1}$]
 λ – tepelná vodivost [$W \times m^{-1} \times K^{-1}$] b - tepelná jímavost [$W \times s^{1/2} \times K^{-1} \times m^{-2}$]

A Neupravená					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0393	0,038	67,7	0,00149
1	7,4	0,0269	0,0375	94,1	0,00101
1	62,3	0,0173	0,0699	337	0,00121
1	99,5	0,0147	0,0748	401	0,0011
1	113,1	0,0144	0,0751	417	0,00108
1	141,9	0,0146	0,0786	450	0,00114
2	0	0,0382	0,0377	58,4	0,00144
2	7,6	0,0273	0,0375	106	0,00102
2	64,5	0,0175	0,0722	260	0,00127
2	110,3	0,0144	0,0776	425	0,00112
2	130,9	0,0136	0,0811	450	0,0011
2	175	0,0112	0,0953	600	0,00106
3	0	0,0383	0,038	53,3	0,00145
3	9,7	0,0271	0,0375	105	0,00102
3	55,6	0,0163	0,0719	339	0,00117
3	100	0,0152	0,0734	397	0,00112
3	121,5	0,0146	0,0739	444	0,00108
3	154,6	0,0134	0,0813	504	0,00109

A chlorovaná koncentrace 1 (1g/l a 30 min)					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0394	0,0369	66	0,00145
1	9,3	0,0403	0,0364	107	0,00147
1	57,5	0,0189	0,0737	351	0,00139
1	86,4	0,0152	0,0737	415	0,00112
1	114,5	0,0131	0,0855	517	0,00112
1	150,6	0,0109	0,104	692	0,00113
2	0	0,0406	0,0368	54,5	0,00149
2	8	0,0401	0,0372	98,6	0,00149
2	22,2	0,0247	0,0567	238	0,0014
2	95,1	0,0163	0,0787	403	0,00129
2	122,9	0,016	0,0807	438	0,00129
2	159,1	0,0118	0,11	633	0,00129
3	0	0,0422	0,037	50,3	0,00156
3	7,7	0,0424	0,0375	102	0,00159
3	48,3	0,0204	0,0714	317	0,00145
3	89,6	0,016	0,0763	420	0,00122
3	106,7	0,0151	0,0844	415	0,00128
3	148,8	0,0132	0,0967	568	0,00128

A chlorovaná koncentrace 2 (0,5g/l a 60 min)					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0377	0,037	66,1	0,00139
1	6,3	0,0398	0,0372	79,5	0,00148
1	52,7	0,0184	0,0723	333	0,00133
1	92,1	0,0162	0,0756	372	0,00122
1	109,2	0,0157	0,0791	382	0,00124
1	146,8	0,0159	0,0786	456	0,00125
2	0	0,0403	0,0371	84,9	0,00149
2	6,5	0,0415	0,0373	93,9	0,00155
2	65,3	0,0196	0,072	336	0,00141
2	93,4	0,0159	0,073	373	0,00116
2	120,4	0,0147	0,0817	443	0,0012
2	160,3	0,0135	0,0937	522	0,00127
3	0	0,0397	0,0376	57,9	0,00149
3	4,6	0,0418	0,0372	92	0,00155
3	31,4	0,0199	0,0663	294	0,00132
3	94,5	0,0162	0,0774	422	0,00125
3	122,9	0,0151	0,0823	441	0,00124
3	161,5	0,013	0,0932	527	0,00121

A Chlorovaná koncentrace 3 (1g/l a 60 min)					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0406	0,0378	51,4	0,00153
1	6,8	0,0412	0,0373	73,5	0,00153
1	57,3	0,0187	0,0756	351	0,00141
1	83,5	0,0155	0,0763	378	0,0012
1	96,5	0,0162	0,0762	422	0,00124
1	124,7	0,0131	0,0886	559	0,00116
2	0	0,0377	0,0371	76,3	0,0014
2	5,7	0,04	0,037	99,8	0,00148
2	19,6	0,0228	0,0567	248	0,00129
2	81	0,0149	0,0793	403	0,00118
2	101,3	0,0139	0,0841	449	0,00117
2	136,8	0,0122	0,0964	557	0,00117
3	0	0,0423	0,0365	48	0,00154
3	5,5	0,0392	0,0364	101	0,00143
3	45	0,0206	0,07	314	0,00144
3	81,8	0,0166	0,074	372	0,00122
3	101,2	0,0156	0,0787	425	0,00123
3	138	0,0135	0,0909	530	0,00124

Příloha IV:

A enzymy, doba působení 60 min					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0378	0,0374	52,3	0,00141
1	3,8	0,037	0,0374	123	0,00139
1	14,2	0,0236	0,0482	244	0,00114
1	69,3	0,0146	0,0783	386	0,00114
1	83,7	0,0148	0,0793	425	0,00117
1	113,6	0,0137	0,0873	467	0,0012
2	0	0,0391	0,0368	75,5	0,00144
2	2,7	0,0368	0,0375	120	0,00138
2	18,7	0,0205	0,0565	271	0,00116
2	69,9	0,0145	0,0788	403	0,00114
2	80	0,013	0,0838	425	0,00109
2	109,4	0,0143	0,0858	453	0,00122
3	0	0,0385	0,0378	58	0,00145
3	4,5	0,0357	0,0379	119	0,00135
3	17,8	0,0252	0,0492	238	0,00124
3	72,8	0,0146	0,0785	402	0,00114
3	87,4	0,0141	0,0812	434	0,00114
3	110,9	0,0135	0,0861	485	0,00116

A enzymy, doba působení 90 min					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0369	0,038	70,9	0,0014
1	9,1	0,0329	0,038	136	0,00125
1	32,2	0,017	0,068	326	0,00116
1	79,5	0,0144	0,0768	405	0,0011
1	94,9	0,0134	0,0824	449	0,0011
1	138,9	0,0107	0,0992	589	0,00106
2	0	0,0372	0,0383	68,9	0,00143
2	6,2	0,0339	0,0389	131	0,00132
2	37	0,0164	0,0694	340	0,00114
2	74	0,0151	0,073	381	0,0011
2	85,6	0,0147	0,0784	415	0,00115
2	124,4	0,0129	0,0907	520	0,00117
3	0	0,0396	0,0374	60,4	0,00148
3	7,4	0,0364	0,0383	123	0,00139
3	38,8	0,0164	0,069	324	0,00113
3	81,4	0,0139	0,0795	410	0,0011
3	100,7	0,0139	0,0835	427	0,00116
3	129,1	0,0122	0,0918	529	0,00112

A enzymy, doba působení 120 min					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0393	0,0379	65,6	0,00149
1	8	0,0334	0,0387	122	0,00129
1	67	0,0168	0,0723	377	0,00122
1	89,2	0,0154	0,0767	370	0,00118
1	111,6	0,015	0,078	445	0,00117
1	152	0,0131	0,087	483	0,00114
2	0	0,04	0,0377	72,8	0,00151
2	6,4	0,0341	0,0383	130	0,00131
2	59,1	0,0163	0,0718	351	0,00117
2	85	0,0148	0,0781	386	0,00117
2	107,2	0,0144	0,0821	411	0,00118
2	153,5	0,0123	0,0962	552	0,00118
3	0	0,0406	0,0378	77,8	0,00153
3	6,5	0,0347	0,0384	138	0,00133
3	59,4	0,017	0,0721	346	0,00122
3	82,3	0,0148	0,0754	383	0,00112
3	98,6	0,0135	0,0847	435	0,00114
3	146,5	0,0122	0,0938	522	0,00114

A Laser, stupeň šedi 207					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,023	0,0399	86,2	0,00092
1	4,2	0,0261	0,0402	120	0,00105
1	28	0,0093	0,076	432	0,0007
1	65,7	0,0076	0,0931	561	0,00071
1	70,9	0,0073	0,1	570	0,00073
1	108,3	0,0061	0,1359	703	0,00083
2	0	0,0226	0,0421	82,7	0,00095
2	3,6	0,0274	0,0379	116	0,00104
2	25,4	0,0113	0,0787	418	0,00089
2	62	0,0071	0,1	656	0,00071
2	75,1	0,0072	0,109	556	0,00079
2	112,8	0,0056	0,142	723	0,00079
3	0	0,0227	0,0408	81,6	0,00093
3	3,9	0,026	0,042	108	0,00109
3	24,3	0,0087	0,0796	399	0,00069
3	59,8	0,0072	0,0965	510	0,00069
3	75	0,0075	0,1035	537	0,00077
3	118,2	0,006	0,142	728	0,00085

Příloha IV:

A Laser, stupeň šedi 204					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,021	0,0421	85,9	0,00088
1	4,2	0,0254	0,0401	125	0,00102
1	25,8	0,0136	0,0611	338	0,00083
1	59,4	0,0074	0,0896	523	0,00066
1	82,7	0,007	0,107	568	0,00075
1	118,9	0,0061	0,13	825	0,00079
2	0	0,0208	0,043	93	0,00089
2	3	0,0255	0,0391	120	0,00106
2	17,4	0,014	0,0565	297	0,0008
2	64,7	0,0077	0,102	563	0,00079
2	79,3	0,0071	0,105	547	0,00075
2	120,3	0,006	0,128	856	0,00077
3	0	0,022	0,042	83,7	0,00092
3	4,7	0,0234	0,0407	136	0,00095
3	23	0,0143	0,0598	320	0,00086
3	67,7	0,0076	0,095	539	0,00072
3	80,8	0,0073	0,108	555	0,00078
3	107,9	0,0062	0,123	780	0,00076

A Laser, stupeň šedi 200					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0244	0,04	80	0,00097
1	4,3	0,0258	0,0386	119	0,00099
1	20,3	0,014	0,0559	330	0,00078
1	58	0,0073	0,0946	587	0,00068
1	80,6	0,0067	0,113	620	0,00075
1	110,9	0,006	0,121	733	0,00072
2	0	0,022	0,0422	85,2	0,00093
2	4,7	0,0266	0,0369	110	0,00098
2	17,7	0,0146	0,0526	308	0,00077
2	64,8	0,0068	0,105	609	0,00071
2	79,2	0,0068	0,11	611	0,00075
2	116,2	0,0057	0,128	739	0,00073
3	0	0,0232	0,0399	78,8	0,00093
3	3,8	0,0273	0,038	101	0,00104
3	22,2	0,0143	0,0584	331	0,00084
3	49,9	0,0077	0,0902	562	0,00069
3	86,4	0,0065	0,115	647	0,00075
3	124	0,0055	0,13	785	0,00071

B Neupravená					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0375	0,038	84,4	0,00143
1	6,1	0,0265	0,0371	112	0,00098
1	62	0,0162	0,0739	351	0,0012
1	118	0,0136	0,0786	430	0,00107
1	160,8	0,0118	0,0893	538	0,00105
1	199	0,0081	0,109	694	0,00105
2	0	0,0409	0,0366	47,3	0,00149
2	9,7	0,0265	0,0371	113	0,00098
2	67,1	0,0166	0,0732	351	0,00121
2	99,3	0,0151	0,0709	387	0,00107
2	123,1	0,0149	0,0715	418	0,00106
2	182,9	0,0119	0,0889	548	0,00106
3	0	0,0391	0,0368	72,1	0,00144
3	9,5	0,0273	0,037	119	0,00101
3	64,4	0,0171	0,0709	335	0,00121
3	96,2	0,0158	0,0704	398	0,00111
3	121,5	0,0155	0,0714	401	0,0011
3	161,4	0,0133	0,083	492	0,0011

B Chlorovaná, koncentrace 1 (1g/l a 30 minut)					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0397	0,037	72,4	0,00147
1	5,3	0,0452	0,0366	104	0,00166
1	19,5	0,0288	0,0489	206	0,00141
1	84,6	0,0174	0,0711	355	0,00124
1	96,1	0,0181	0,0715	352	0,00129
1	124,5	0,0176	0,0766	428	0,00135
2	0	0,0418	0,0374	80	0,00156
2	6,6	0,0441	0,0357	102	0,00157
2	35	0,0215	0,0676	292	0,00145
2	95	0,017	0,0761	382	0,00129
2	115,3	0,0165	0,0819	401	0,00135
2	146,3	0,012	0,107	575	0,00128
3	0	0,0403	0,0371	54,5	0,00149
3	5,9	0,0426	0,0363	107	0,00155
3	46,5	0,0199	0,0696	316	0,00139
3	95,4	0,0166	0,0744	350	0,00124
3	118,6	0,0158	0,0783	404	0,00124
3	148,6	0,0149	0,0858	466	0,00128

Příloha IV:

B Chlorovaná, koncentrace 2 (0,5g/l a 60 minut)						B Chlorovaná, koncentrace 3 (1g/l a 60 minut)					
V	U	R	λ	b	h	V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0424	0,0365	51,2	0,00155	1	0	0,0417	0,0368	45,3	0,00153
1	8,4	0,0417	0,0375	101	0,00156	1	4,2	0,0448	0,0369	103	0,00166
1	64	0,0191	0,0745	357	0,00143	1	39,8	0,0216	0,0661	232	0,00143
1	81,4	0,0165	0,0763	372	0,00126	1	93,2	0,0171	0,0779	367	0,00133
1	105,8	0,0168	0,0795	398	0,00133	1	120,1	0,0159	0,0816	425	0,0013
1	147	0,0141	0,0964	540	0,00136	1	160	0,0149	0,0887	522	0,00132
2	0	0,0409	0,0372	59,7	0,00152	2	0	0,0418	0,0374	61,2	0,00156
2	6,5	0,0411	0,0376	103	0,00155	2	4,4	0,0436	0,0367	104	0,0016
2	59	0,0195	0,0715	340	0,00139	2	51,6	0,0194	0,07	318	0,00136
2	89,3	0,0162	0,0741	385	0,0012	2	91	0,0167	0,0767	389	0,00128
2	109,4	0,0135	0,0905	510	0,00122	2	110,6	0,017	0,0783	423	0,00133
2	149,2	0,0123	0,0928	581	0,00114	2	144,8	0,015	0,089	504	0,00134
3	0	0,0409	0,0378	71,9	0,00155	3	0	0,0394	0,0372	81,1	0,00147
3	4,8	0,0421	0,0372	97,5	0,00157	3	5	0,0427	0,0368	99,7	0,00157
3	30,1	0,0219	0,0661	282	0,00145	3	24,4	0,0243	0,0587	246	0,00143
3	80,7	0,0145	0,0781	411	0,00113	3	86,6	0,0178	0,0725	393	0,00129
3	108,6	0,015	0,083	463	0,00124	3	102,7	0,0174	0,0749	375	0,00131
3	146,2	0,0139	0,0911	529	0,00127	3	135,3	0,0152	0,087	475	0,00133

B Enzymy, doba působení 60 minut						B Enzymy, doba působení 90 minut					
V	U	R	λ	b	h	V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0384	0,0378	65,8	0,00145	1	0	0,0388	0,0382	54,6	0,0015
1	5,1	0,0379	0,037	109	0,0014	1	2,6	0,0379	0,038	109	0,0014
1	20,2	0,0231	0,0496	254	0,00114	1	34,4	0,0162	0,0725	347	0,0012
1	78,7	0,0142	0,078	449	0,0011	1	74,9	0,0138	0,0798	417	0,0011
1	97,5	0,0142	0,0795	431	0,00113	1	87,1	0,0138	0,081	444	0,0011
1	132,3	0,0116	0,0938	553	0,00109	1	121,8	0,013	0,091	503	0,0012
2	0	0,0415	0,0373	62,1	0,00155	2	0	0,0401	0,0377	62,3	0,0015
2	3,6	0,0359	0,0382	114	0,00137	2	5,5	0,0351	0,0387	126	0,0014
2	27,6	0,0191	0,0626	274	0,0012	2	41,4	0,0189	0,0685	279	0,0013
2	78,2	0,0139	0,0791	427	0,0011	2	78	0,015	0,0783	399	0,0012
2	90,2	0,0134	0,0831	450	0,00112	2	89,8	0,0148	0,0802	406	0,0012
2	129,3	0,0124	0,0933	547	0,00116	2	120,7	0,0149	0,0829	477	0,0012
3	0	0,0453	0,0369	51,7	0,00167	3	0	0,0391	0,0379	55,9	0,0015
3	5,5	0,038	0,0383	121	0,00145	3	4,7	0,0367	0,0389	114	0,0014
3	30	0,0252	0,0609	246	0,00153	3	38,2	0,0149	0,0715	360	0,0011
3	80	0,0144	0,0768	428	0,0011	3	78,7	0,0144	0,0803	406	0,0012
3	103,1	0,0142	0,0794	455	0,00112	3	98,8	0,0135	0,0817	407	0,0011
3	145	0,0119	0,0967	568	0,00115	3	139,3	0,0118	0,0991	557	0,0012

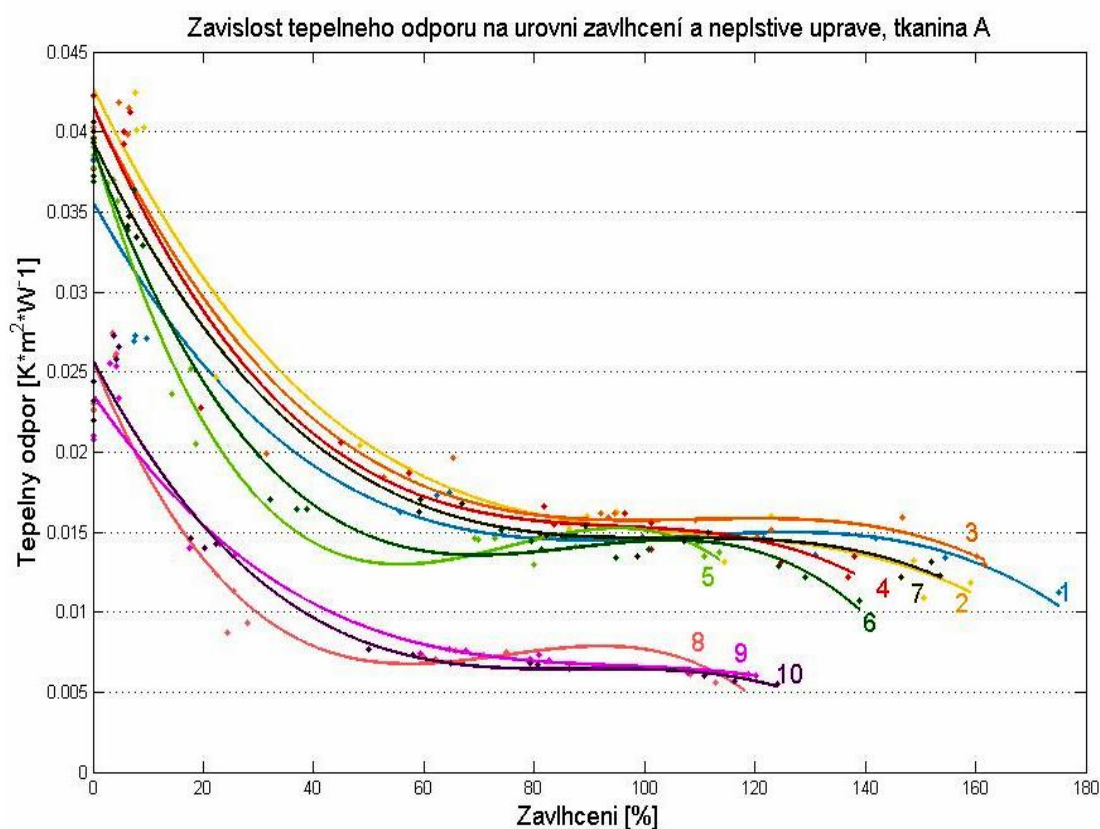
Příloha IV:

B Enzymy, doba působení 120 minut					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,042	0,037	56	0,00155
1	5,2	0,0368	0,0384	125	0,00141
1	49,1	0,0161	0,0721	372	0,00116
1	80,3	0,0137	0,0812	433	0,00112
1	96,6	0,0131	0,0844	450	0,0011
1	137,5	0,011	0,0991	578	0,00109
2	0	0,0382	0,038	67,2	0,00145
2	6,5	0,0372	0,0389	131	0,00145
2	44,8	0,0143	0,0746	363	0,00106
2	82,6	0,0135	0,0769	388	0,00114
2	92,3	0,0143	0,0802	416	0,00114
2	114,8	0,0148	0,0865	452	0,00128
3	0	0,0369	0,0383	56,3	0,00141
3	5,2	0,0366	0,0386	134	0,00141
3	46,7	0,0172	0,0712	340	0,00122
3	81,5	0,014	0,0786	397	0,0011
3	94,3	0,0144	0,0834	437	0,0012
3	125,4	0,0115	0,109	606	0,00125

B Laser, stupeň šedi 207					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0223	0,0405	81	0,00091
1	4	0,0251	0,0391	112	0,00098
1	40,6	0,0107	0,0813	386	0,00086
1	66,7	0,0083	0,106	468	0,00088
1	83,9	0,0074	0,111	519	0,00083
1	110,5	0,0076	0,129	598	0,00098
2	0	0,0217	0,0421	80,5	0,00091
2	3,1	0,026	0,0389	110	0,00102
2	32,7	0,0105	0,0762	351	0,00081
2	62,2	0,0078	0,101	506	0,00079
2	75,2	0,0076	0,103	507	0,00079
2	103,5	0,0072	0,12	554	0,00086
3	0	0,0225	0,0404	80	0,00092
3	3,6	0,023	0,0389	117	0,00089
3	38,5	0,01	0,0803	383	0,0008
3	61,1	0,0079	0,0963	456	0,00077
3	74,2	0,0077	0,105	488	0,00082
3	107,7	0,0073	0,12	550	0,00088

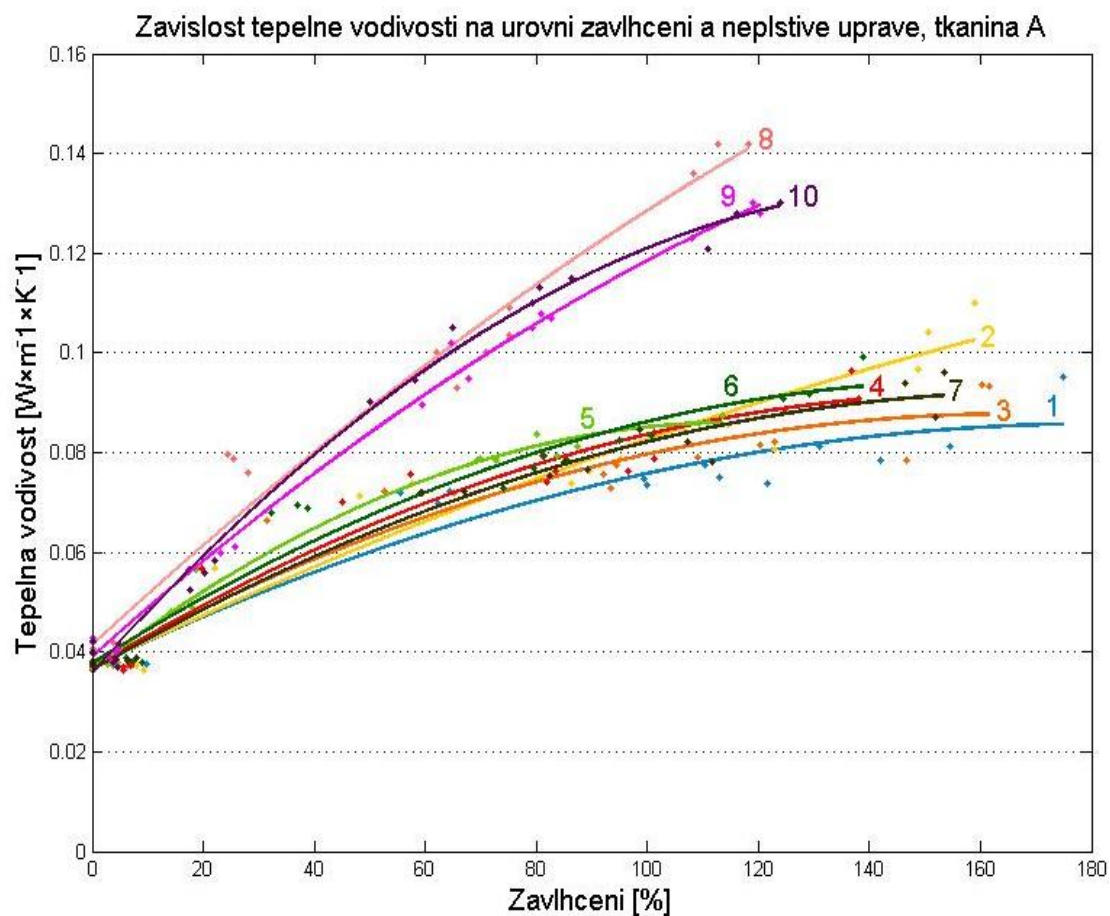
B Laser, stupeň šedi 204					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0246	0,0395	83,6	0,00097
1	6,2	0,0265	0,041	124	0,00109
1	38,1	0,009	0,0823	400	0,00075
1	64,8	0,0072	0,0931	468	0,00066
1	90	0,0061	0,12	526	0,00072
1	122,1	0,0052	0,136	658	0,00072
2	0	0,0271	0,0382	80,2	0,00105
2	5,3	0,0283	0,0385	115	0,00109
2	28,6	0,0113	0,0695	340	0,00078
2	69,2	0,0071	0,109	483	0,00077
2	86,3	0,0067	0,119	514	0,00081
2	131,7	0,0056	0,143	701	0,0008
3	0	0,0262	0,0391	79,8	0,00102
3	5,1	0,0268	0,0386	117	0,00102
3	40,1	0,0103	0,0786	367	0,00082
3	72,3	0,0064	0,116	479	0,00074
3	92,5	0,0062	0,124	588	0,00078
3	113,8	0,0061	0,124	661	0,00077

B Laser, stupeň šedi 200					
V	U	R	λ	b	h
1	0	0,0234	0,041	79,3	0,00096
1	7,2	0,0246	0,0392	158	0,00095
1	45,6	0,0098	0,0623	440	0,00066
1	90,3	0,007	0,125	558	0,00089
1	96	0,0058	0,128	594	0,00074
1	118,5	0,0056	0,142	608	0,00081
2	0	0,0226	0,0424	81	0,00097
2	4,6	0,0274	0,0385	119	0,00106
2	28,5	0,0122	0,0658	276	0,0008
2	70	0,0074	0,105	493	0,00077
2	85,8	0,0063	0,118	568	0,00075
2	128,7	0,0058	0,135	720	0,00079
3	0	0,023	0,0422	83,6	0,00097
3	3,7	0,0259	0,04	94	0,00104
3	39,1	0,012	0,0702	293	0,00086
3	64,4	0,0057	0,0795	502	0,00064
3	99,3	0,006	0,127	601	0,00077
3	117,3	0,0052	0,138	632	0,00073

Příloha V: **Grafy regresních závislostí, dendrogramy**

Tepelný odpor, tkanina A		
1 Nechlorovaná	$y = -2E-08x^3 + 6E-06x^2 - 0,0006x + 0,0356$	$R^2 = 0,9462$
2 Chlor, konc1	$y = -2E-08x^3 + 6E-06x^2 - 0,0007x + 0,0428$	$R^2 = 0,964$
3 Chlor, konc2	$y = -2E-08x^3 + 7E-06x^2 - 0,0007x + 0,0416$	$R^2 = 0,9615$
4 Chlor, konc3	$y = -3E-08x^3 + 8E-06x^2 - 0,0008x + 0,0416$	$R^2 = 0,961$
5 Enzym 60	$y = -7E-08x^3 + 2E-05x^2 - 0,0012x + 0,0392$	$R^2 = 0,9861$
6 Enzym 90	$y = -4E-08x^3 + 1E-05x^2 - 0,0009x + 0,039$	$R^2 = 0,9825$
7 Enzym 120	$y = -2E-08x^3 + 7E-06x^2 - 0,0007x + 0,0394$	$R^2 = 0,9961$
8 Laser 207	$y = -5E-08x^3 + 1E-05x^2 - 0,0008x + 0,0257$	$R^2 = 0,9304$
9 Laser 204	$y = -2E-08x^3 + 5E-06x^2 - 0,0005x + 0,0236$	$R^2 = 0,9444$
10 Laser 200	$y = -3E-08x^3 + 7E-06x^2 - 0,0007x + 0,0257$	$R^2 = 0,9477$

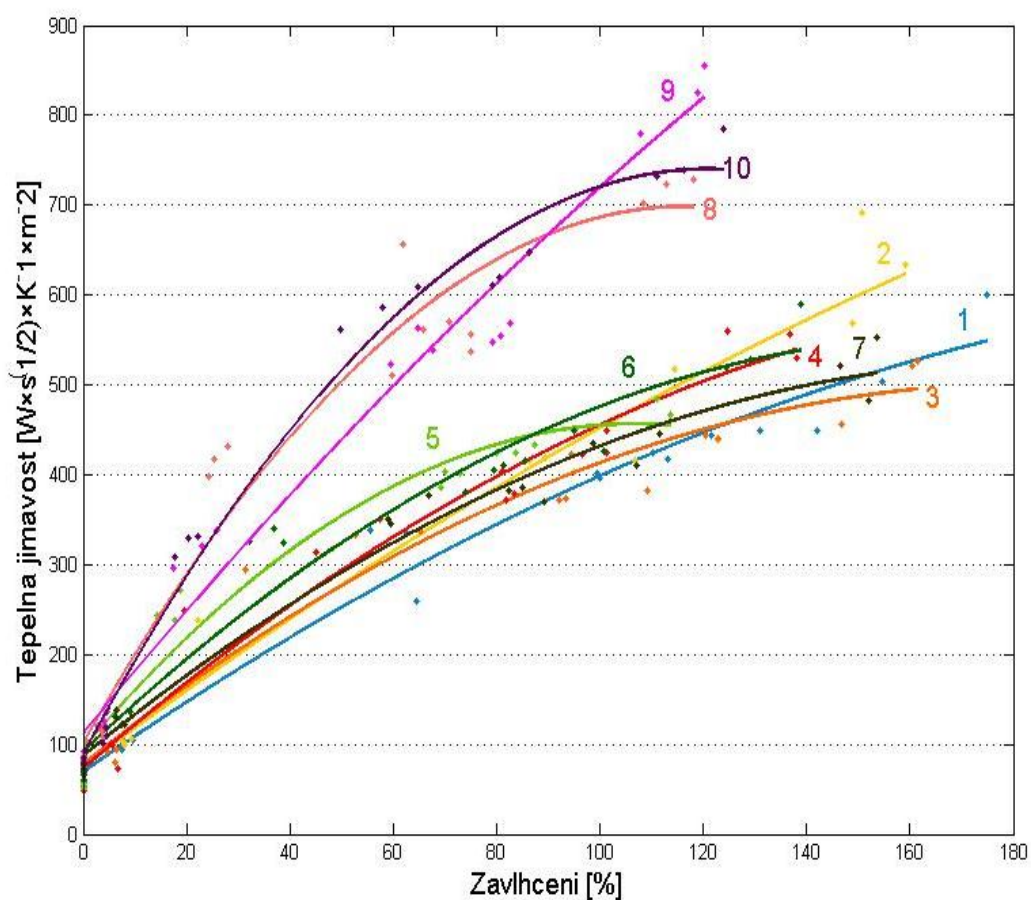
Příloha V:



Tepelná vodivost, tkanina A		
1 Nechlorovaná	$y = -1E-06x^2 + 0,0005x + 0,037$	$R^2 = 0,9399$
2 Chlor, konc1	$y = -7E-07x^2 + 0,0005x + 0,037$	$R^2 = 0,9513$
3 Chlor, konc2	$y = -2E-06x^2 + 0,0006x + 0,0374$	$R^2 = 0,9431$
4 Chlor, konc3	$y = -2E-06x^2 + 0,0007x + 0,0367$	$R^2 = 0,9599$
5 Enzym 60	$y = -4E-06x^2 + 0,0009x + 0,0365$	$R^2 = 0,9915$
6 Enzym 90	$y = -2E-06x^2 + 0,0007x + 0,0377$	$R^2 = 0,9524$
7 Enzym 120	$y = -2E-06x^2 + 0,0006x + 0,0365$	$R^2 = 0,9781$
8 Laser 207	$y = -2E-06x^2 + 0,001x + 0,0414$	$R^2 = 0,9699$
9 Laser 204	$y = -2E-06x^2 + 0,001x + 0,0391$	$R^2 = 0,9935$
10 Laser 200	$y = -4E-06x^2 + 0,0013x + 0,0358$	$R^2 = 0,9909$

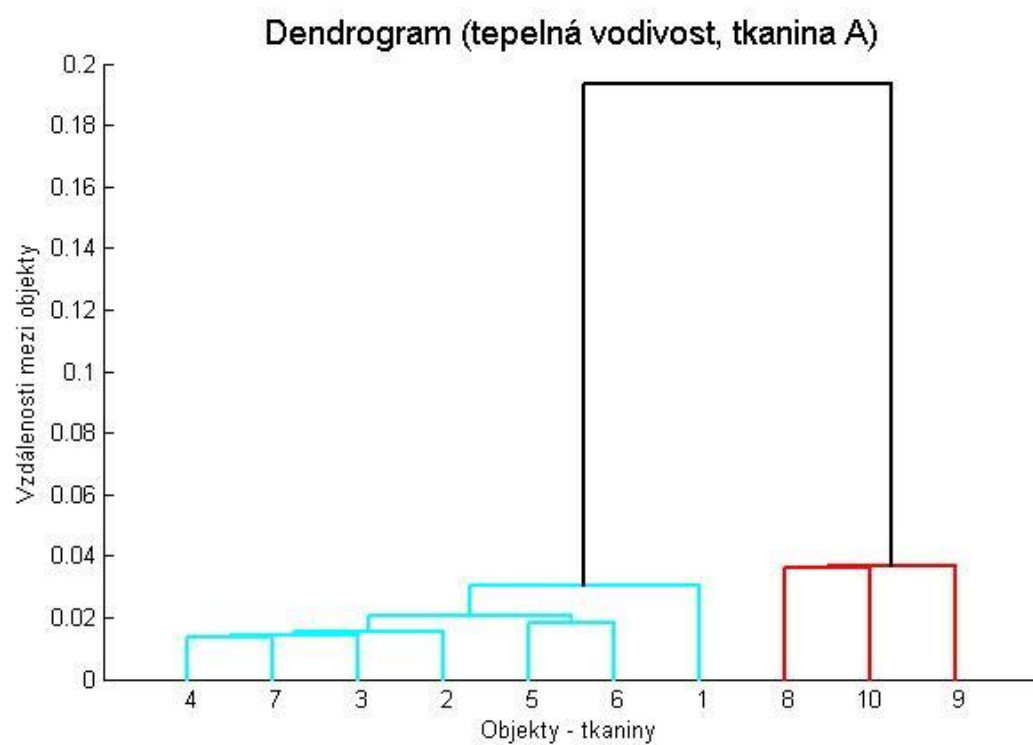
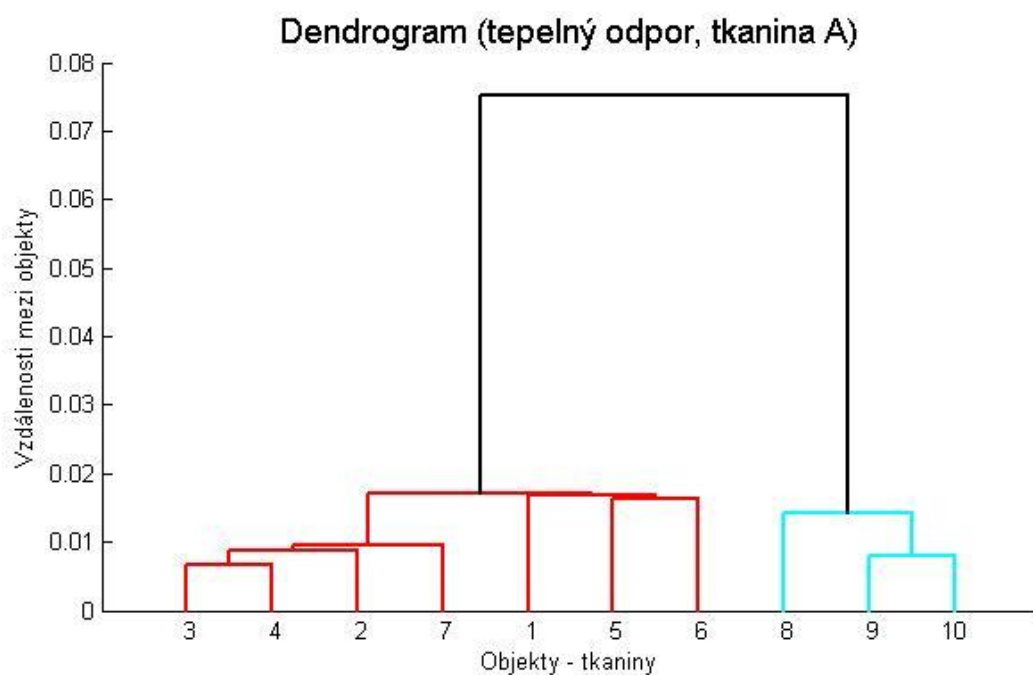
Příloha V:

Zavislost tepelne jímavosti na urovni zavlhceni a neplstive uprave, tkanina A

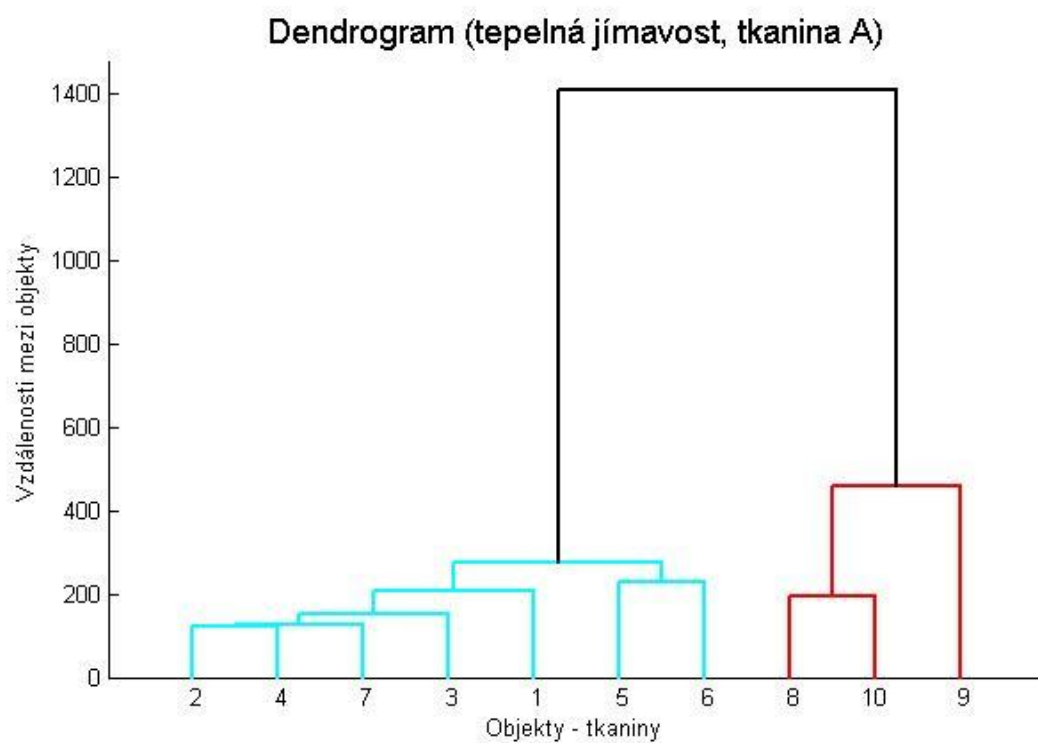


Tepelná jímavost, tkanina A		
1 Nechlorovaná	$y = -0,0074x^2 + 4,0337x + 69,395$	$R^2 = 0,9743$
2 Chlor, konc1	$y = -0,0055x^2 + 4,3167x + 75,579$	$R^2 = 0,9572$
3 Chlor, konc2	$y = -0,0125x^2 + 4,6108x + 77,691$	$R^2 = 0,9639$
4 Chlor, konc3	$y = -0,0118x^2 + 5,0083x + 72,956$	$R^2 = 0,9693$
5 Enzym 60	$y = -0,0316x^2 + 6,7583x + 95,708$	$R^2 = 0,9669$
6 Enzym 90	$y = -0,0161x^2 + 5,4515x + 92,138$	$R^2 = 0,9575$
7 Enzym 120	$y = -0,0126x^2 + 4,7132x + 87,214$	$R^2 = 0,98$
8 Laser 207	$y = -0,0441x^2 + 10,266x + 100,7$	$R^2 = 0,9539$
9 Laser 204	$y = -0,0092x^2 + 6,9996x + 111,96$	$R^2 = 0,9773$
10 Laser 200	$y = -0,0446x^2 + 10,786x + 88,242$	$R^2 = 0,9855$

Příloha V:



Příloha V:



Příloha VI: **Skript z programu Matlab****Skript pro závislost tepelného odporu na zavlhčení a typu neplstivé úpravy, tkanina A**

```

clear,clc,close all
load RA.mat
%načtení naměřených hodnot tepelných vlastností
(RA=tepelný odpor, tkanina A)
load vlhkostA.mat %načtení hodnot zavlhčení (zde pro tkaninu A)
koef=[]; %připravená prázdná matice pro zápis koeficientů
for i=1:size(vlhkostA,2)
    a=polyfit(vlhkostA(:,i),RA(:,i),3); %hledá koeficienty polynomů
    koef=[koef; a];
    x=min(vlhkostA(:,i)):0.01:max(vlhkostA(:,i));
    y=polyval(a,x); %vyčíslení hodnot polynomů a v bodech x
    Rgb=rand; rGb=rand; rgB=rand;
    [c r]=max(vlhkostA(:,i));
    plot(vlhkostA(:,i),RA(:,i),'.','Color',[Rgb rGb rgB]); hold on;
    plot(x,y,'Color',[Rgb rGb rgB]); %vykreslení grafu závislostí

text(max(vlhkostA(:,i)),RA(r,i),num2str(i),'FontSize',14,'Color',[Rgb
rGb rgB]);
end

```

**Skript pro výpočet vzdáleností a vytvoření dendrogramu,
(závislost tepelného odporu na zavlhčení a typu neplstivé úpravy, tkanina A)**

```

A=0; %dolní mez A
B=105; %horní mez B
rozd=[]; %prázdná matice pro výpočty vzdáleností
Di=zeros(10);
syms x %symbolická proměnná
for j=1:size(koef,1)
    for k=1:size(koef,1)
        rozd=diff([koef(j,:); koef(k,:)]); %vzájemné rozdíly mezi všemi
        koeficienty
        integr=int((rozd(1)*x^3+rozd(2)*x^2+rozd(3)*x+rozd(4))^2,A,B);
        %integrace těchto rozdílů na intervalu od A do B
        di=sqrt(eval(integr)); %výsledky integrace jsou odmocněny
        Di(j,k)=di; %vypočtené hodnot se vepisují do připravené matice Di
    end
end
DiT=tril(Di); %horní část matice nad diagonálou obsahuje nuly
DI=DiT(find(DiT~=0));
%polovina matice s nenulovými hodnotami připravená pro zpracování
funkcí linkage

W = linkage(DI);
%vyhodnocuje vzdálenosti mezi objekty a převádí je do shluků
figure
dendrogram(W,'colorthreshold','default') %grafický výstup funkce
linkage

```